

مركز براهين لدراسة الإلحاد ومعالجة النوازل العقدية

شك داروين

النشوء المفاجئ لحياة الكائنات وحجة التصميم الذكي

تأليف:

د. ستيفن ماير

ترجمة:

د. موسى إدريس - د. مؤمن الحسن - وآخرون

تقديم:

د. محمد العوضي



شك داروين

بسم الله الرحمن الرحيم

شك داروين

النشوء المفاجئ لحياة الكائنات
وحجة التصميم الذكي

د. ستيفن ماير

Darwin's Doubt

The Explosive Origin of Animal Life and the Case for Intelligent Design

Stephen C. Meyer

ترجمة: د. موسى إدريس – د. مؤمن الحسن – د. محمد أسامة إبراهيم – د. محمد القاضي – د. زيد الهبري – د. أسماء الخطيب – د. محمد محمد السيد – د. أيمن الشافعي – د. إبراهيم الشحات – د. مهند التومي – عبد الرحمن طبلس

مراجعة لغوية: محمد عادل

الطبعة الأولى: يناير ٢٠١٦
رقم الإيداع: ٢٣٣٢٦/ ٢٠١٥
الترقيم الدولي: ١-٠٢-٦٥٤٥-٩٧٧-٩٧٨

الآراء الواردة في هذا الكتاب لا تعبر بالضرورة عن وجهة نظر (مركز براهين) وإنما عن وجهة نظر المؤلف.

مركز براهين للأبحاث والدراسات
أرقام المبيعات: ٠١٠٦٤٨٠٠٠٩٤(٠٠٢) – ٠١٠١٥٥٧٧٤٦٠(٠٠٢)
بريد المبيعات: sales@braheen.com
صفحات المبيعات: braheen_books braheen.bookstore

إهداء

نهدي هذا العمل إلى الأستاذ/ أحمد يحيى (مدير قسم البحوث البيولوجية بالمركز) الذي كان إصراره وحماسه وراء استمرار الإنتاج في هذا المجال.

إدارة مركز براهين



«مركز براهين» لدراسة الإلحاد ومعالجة النوازل العقدية هو مركز بحثي مستقل، يعمل كمؤسسة غير ربحية مرخصة في لندن بالمملكة المتحدة، ويُعنى فقط بالعمل في المجال البحثي الأكاديمي لتوفير إصدارات متعددة (كتابية - مرئية - سمعية) على درجة عالية من الدقة والموضوعية والتوثيق يسعى من خلالها لتحقيق رسالته.

• رؤية المركز: عالم بلا إلحاد.

• رسالة المركز: المساهمة النوعية في تفكيك الخطاب الإلحادي ونقد مضامينه العلمية والفلسفية وأبعاده التاريخية والأخلاقية والنفسية والاجتماعية وبناء التصورات الصحيحة عن الدين والإنسان والحياة ومعالجة النوازل العقدية انطلاقاً من أصول الشريعة ومحكمات النصوص كل ذلك بلغة علمية رصينة وأسلوب تربوي هادف.

BRAHEEN CENTER

for Studying Atheism

and Contemporary Issues of Faith

27 Old Gloucester Street, London,
United Kingdom, WC1N 3AX

• سياسة المركز: يعمل المركز بشكل أساسي على نقد أصول ومظاهر الإلحاد الحديث نقدا منهجيا، مع مراعاة البعد النفسي للمتلقين بمختلف فئاتهم، والحرص على تركيز النقد على الأطروحات الأساسية للخطاب الإلحادي الحديث. كما تنتهج مخرجات المركز أساليب الإفحام، والنقض، والدفاع وكذلك أساليب البناء والإقناع والهجوم وتقديم البدائل قدر الإمكان. وتنحصر مخرجات المركز بشكل رئيسي في ثلاثة مجالات عريضة: علمية، فلسفية، شرعية.

الموقع الرسمي: www.braheen.com

للتواصل والاستفسارات العامة: info@braheen.com

لمراسلة رئيس مجلس الإدارة: alshehri@braheen.com

فيسبوك: fb.braheen.com

تويتر: t.braheen.com

يوتيوب: y.braheen.com

انستجرام: i.braheen.com

مقدمة

تراجع القول بأزلية الكون وقدم المادة أمام تتابع الكشوف العلمية، التي من أشهرها وأكثرها أثرا وقوةً نظرية (الانفجار العظيم)، وهو ما أحرج المؤدلجين من أصحاب النزعات المادية والاتجاهات الإلحادية، وذلك لما ترتب على ميلادها من إشكالات فلسفية كُبرى تخص أسئلة البدايات. أما نظرية التطور الداروينية؛ فهي قطب الرحى للإلحاد المعاصر، والتي زهَّدتْ الناس برواية الأديان السماوية في قصة النشأة الأولى للخلق –آدم– وأصل الحياة.

ومع ذلك؛ داروين نفسه كان عالمًا بمحدودية نظريته وتفسيره العلمي للحياة الطبيعية من حوله، ورغم أنه قد حاول أن يحتاط لمستقبل نظريته في كتابه أصل الأنواع بقوله: "إن كان من الممكن إثبات وجود أي عضو معقّد، والذي لا يرجّح أن يكون عن طريق تعديلات عديدة ومتوالية وطفيفة، فسوف تنهار نظريتي انهيارًا كاملا"، إلا أن هاجسه قد تحقق بالفعل.

ورغم التفسيرات العلمية البديلة والمنافسة لنشأة الحياة، إضافةً إلى الثغرات العلمية العديدة التي طرحها علماء معتبرون، مع ازدياد أعداد نقاد الداروينية من علماء البيولوجيا، وانقلاب آخرين عليها وتراجعهم عنها، لاتزال الدعاية والترويج للنظرية على أنها حقيقة مطلقة أو أنها النظرية الأقوى والأسلم في موضوعها!

وأغرب ما يثير الانتباه أنه حين شعر باحثون ونقاد ومهتمون بأن الداروينية تحولت إلى أيدولوجية يكتنفها التسليم بغيبيات وتفسيرات أقرب إلى أساطير الخيال الجامح؛ كانت النتيجة –في مجتمعات علمانية تقدس البحث العلمي الحر– هي التضييق عليهم وفصلهم من الجامعات، كما يحكي ويثبت فيلم (المطرودون).

في ظل التأزم هذا الذي تعيشه النظرية، تبرز أطروحة التصميم الذكي –والتي يفصل فيها القول ستيفن ماير في أحد فصول هذا الكتاب– لتقدم تفسيرًا أكثر متانة واتساقا مع الاكتشافات العلمية المتأخرة؛ فالخلية الحية التي لم تكن في نظر العلماء في عصر داروين سوى مادة هلامية بسيطة لا تعقيد فيها، اتضح في العصر الحالي –ومع تطور آلات الرصد والكشف– أنها مصنع حيوي متكون من العديد من الجزيئات الوظيفية التي يعتمد بعضها على بعض في صورة بالغة التعقيد والتركيب، هذا التعقيد الذي لا يمكن تفسيره بالتطور التدريجي الزمني البطيء والمعتمد اعتمادًا جوهريًّا على تراكم آثار الطفرات، لتعمل عملها السحري المجهول في إبداع الأنواع.

لأجل ذلك، وقع الاختيار على كتاب ستيفن ماير (شك داروين)، ليكسر التابو الدارويني، وليحث المقلدين وأسرى الانبهار بالزخم الإعلامي لهذه النظرية على مراجعات جادة لما أدخلوه في مربع القداسة.

د. محمد العوضي

لماذا هذا الكتاب؟!

"لم تنته مهمة داروين حين أنجز أهم وأشهر أعماله؛ كتاب (أصل الأنواع)". في هذه العبارة شيء من المفارقة، لكنه الواقع، إذ لطالما علق بذهن داروين تساؤل قضَّ مضجعه، وأشعل حيرته، لدرجة أنه أخلى كتابه السابق من أيّة محاولة للجواب عنه، إذ لن تخلو محاولته عندئذ من مجازفة تكلفه سمعته وتودي بنظريته، أو تعود في أحسن الأحوال على بعض أفكاره الرئيسية بالشك والإبطال.

يأتي كتاب ستيفن ماير الحالي ليؤدي وظيفتين حيال هذه المعضلة التاريخية في حياة داروين ونظريته: تتمثل الأولى في إحياء النقاش حول حقيقة تلك المعضلة ونسج خيوط أبعادها العلمية. أما الوظيفة الثانية فهي تكثيف الشعور بدلالة تلك المعضلة وأهمية تداعياتها على بنية نظرية التطور الدارويني ككل. كل ذلك بلغة نقدية أكاديمية موعبة، استندت في تقييمها العلمي لأدبيات النظرية التطورية إلى مئات المراجع المعتمدة والأبحاث المُحَكّمة، حتى قال (وولف-إيكيارد لونيش Wolf-Ekkehard Lönnig) كبير علماء البيولوجيا بمعهد (ماكس بلانك) عن عمل (ماير) هذا: "إن كتاب (شك داروين) إلى هذه اللحظة أحدث وأدق وأشمل مراجعة للأدلة المبثوثة في كافة المجالات العلمية ذات العلاقة خلال الأربعين سنة التي أمضيتها في دراسة الانفجار الكامبري. إنه بحث آسر في أصل حياة الكائنات وحجة قاهرة لصالح التصميم الذكي".[1]

---

(١) من التقريظات التي حظي بها الكتاب على الغلاف الخلفي للنسخة الإنجليزية، ط. ١، ٢٠١٣م.

إلى الآن لم نعرّف القارئ بطبيعة المعضلة التي حيرت داروين وحقيقة الشكوك التي ألَمّت به حول مستقبل نظريته، الاقتباس التالي من كلام المؤلف نفسه ينص على الغاية من الكتاب، ويوجز طبيعة المعضلة التي يتصدى لمعالجتها. يقول ماير: "يوثق هذا الكتاب شكَّ داروين الأكبر، وماذا جرى له، ويختبر حدثًا مهما في فترة حاسمة من التاريخ الجيولوجي، ظهرت فيه أعداد هائلة من الأشكال الحيوانية فجأة، ودون أسلاف تطورية محفوظة في السجل الأحفوري؛ وهو الحدث الغامض الذي يرمز له عادة بـ(الانفجار الكامبري)".(٢)

إن هذا الظهور المفاجئ لأشكال الحياة يُضاد ركنًا جوهريًّا من أركان نظرية التطور الدارويني، بل عموده الفقري، ألا وهو افتراض ترقي أشكال حياة من مراتب أدنى فأدنى، يمكن تقفي آثارها شيئًا فشيئا إلى أصلها الأول. لكن الانفجار الكامبري ينطق بخلاف ذلك تماما، فهو لحظة حاسمة فاصلة لا يمكن ردّها إلى رتبة أدنى في سُلَّم التطور المزعوم. ولقد لاحظ هذه الحقيقة البازغة رودريك موركيسون (١٧٩٢ – ١٨٧١م) الذي أفاد منه داروين نفسه، ولقّبه التطوري المتأخر ستيفن جاي جولد بـ"الجيولوجي العظيم"(٣)، في هذا يقول موركيسون: "إن الدلائل المبكّرة على أشكال الحياة ناطقةٌ بما فيها من تعقيد وتنظيم عاليين، لتستبعد بالكلية فرضية تحوّلها بالترقي من رتبة أدنى إلى رتبة أعلى في الوجود... إنّ أمر الخلق الأول حين انبرامه قد أمَّن من دون شك للحيوانات تكيُّفا مثاليًّا مع محيطها".(٤)

---

(٢) انظر التمهيد لهذا الكتاب.

(٣) في كتابه:

Stephen Jay Gould, Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History, p56

(4) Murchison, R. (1854) Siluria: The History Of The Oldest Known Rocks, London, p. 469.

قبل الختام، أرشد القارئ المهتم بنقد نظرية التطور الدارويني إلى اقتراح أحسبه نافعا؛ إن الإلمام الممتاز بالقضايا المركزية في الكتاب الحالي مضمومًا إلى كتاب (تصميم الحياة)[٥] كفيلٌ بأن يَمُدَّ الدارس الحريص بذخيرة علمية نقدية جبارة. فليحرص المرء على الاستفادة منهما معا.

نحمد الله وحده على تيسيره، ونسأله أن يكون من عاجل بشرى توفيقه لنا ولكل من ساهم في إخراج هذا العمل بجهد أو مال أو نصح، والله وحده المستعان وعليه التكلان، تبارك رب العالمين، أحسن الخالقين.

عبدالله الشهري

رئيس مجلس إدارة مركز براهين

(٥) ويليام ديمبسكي، تصميم الحياة، مركز براهين ٢٠١٤.



تمهيد

تمهيد

عندما يسمع الناس اليوم مصطلح (ثورة المعلومات) فإن أول ما ينصرف إليه ذهنهم هو رقاقات السيليكون وشفرات البرامج والهواتف المحمولة والحواسيب الخارقة، ونادرا ما يُظَنُّ أن الكلام يدور حول الكائنات الصغيرة وحيدة الخلية أو حول نشأة الحياة الحيوانية. أثناء كتابة هذه الكلمات في صيف عام ٢٠١٢ كنتُ واقفا عند نهاية الشارع الضيق الذي يعود بناؤه للقرون الوسطى في كمبردج بإنجلترا، حيث بدأتْ –منذ أكثر من نصف قرن– ثورةٌ معلوماتية أثرت بشكل كبير على علم الأحياء. أطلق شرارة هذه الثورة عالمان غير متَوقعان، لكنّ تاريخ العلم خلد ذكرهما، إنهما (فرانسيس كريك Francis Crick) و(جيمس واطسون James Watson). منذ أن كنتُ طالبًا في مرحلة الدكتوراه بجامعة كمبردج –في أواخر الثمانينيات– وأنا منبهر بالطريقة التي غير بها اكتشافهما هذا فهمنا لطبيعة الحياة، حيث سَبَرَ واطسون وكريك أغوارَ البنية الكيميائية للـ(دنا DNA) وخواصه الحاملة للمعلومات خلال خمسينيات القرن العشرين، ليدركَ علماءُ الأحياء أنّ الكائنات الحية شديدة الشبه بالأجهزة عالية التقنية، وتعتمد على المعلومات الرقمية؛ تلك المعلومات التي –في إطار الحديث عن الحياة– تخزن على هيئة شفرة كيميائية مكونة من أربعة حروف، مُتضَمّنة في الشكل الملتف لحلزون الدنا DNA المضاعف.

ونظرا لأهمية المعلومات للكائنات الحية، فقد أصبح من الواضح الآن أن العديد من الثورات المعلوماتية المميزة حدثت في تاريخ الحياة، وهي ليست ثورات من اكتشاف الإنسان أو اختراعه، لكنها ثورات تتضمن تزايدا مثيرا في المعلومات الموجودة في العالم الحي نفسه. يعلم العلماء اليوم أن بناء كائن حي يتطلب المعلومات، وأن بناء أشكال جديدة للحياة من أشكال سابقة أبسط يتطلب كمية

ضخمة من المعلومات الجديدة. لذا، فمتى يشهد السجل الأحفوري نشوء أشكال جديدة من الحياة الحيوانية –التي تظهر على شكل نبضة من الابتكار البيولوجي–، سيشهد أيضا زيادة مهمة في المحتوى المعلوماتي للمحيط الحيوي.

في عام ٢٠٠٩ كتبت كتابا أسميته (التوقيع في الخلية Signature in the Cell)، تناولت فيه الثورة المعلوماتية الأولى في تاريخ الحياة؛ تلك التي حدثت مع نشوء الحياة الأولى على الأرض. وقد وصفت فيه كيف أن الاكتشافات البيولوجية الجزيئية –خلال خمسينيات وستينيات القرن العشرين– أثبتت احتواء الدنا DNA على معلومات رقمية، تحملها الوُحيْدات الكيميائية الأربعة –تعرف بالأسس النكليوتيدية–، التي تعمل كالحروف في اللغة المكتوبة أو كالرموز في الشفرة الحاسوبية. كما أظهرت البيولوجيا الجزيئية أن الخلايا توظف نظاما معقدا لمعالجة الشفرات، والوصول إلى المعلومات المخزنة على الدنا DNA، والتعبير عنها باستخدامها في بناء البروتينات والآلات البروتينية التي تحتاجها للبقاء على قيد الحياة. يجب على العلماء الذين يحاولون شرح أصل الحياة أن يفسروا نشأة الجزيئات الغنية بالمعلومات، ونظام معالجة المعلومات في الخلية.

أنتج نمط المعلومات الموجود في الخلايا الحية –تلك المعلومات المحددة، والتي فيها تسلسل الحروف تؤثر في وظيفة التسلسل ككل– معضلة مستعصية، إذ لا تُظهِر العمليات الفيزيائية أو الكيميائية غير الموجهة القدرة على إنتاج معلومات محددة منطلقة من أسلاف فيزيائية أو كيميائية بحتة. لهذا السبب فشلت نظريات التطور الكيميائي في حل معضلة أصل الحياة الأولى، وهو ادعاء لا يجادل في صحته اليوم سوى قلة من منظري التطور.

في كتابي (التوقيع في الخلية) لم أذكر فقط الأزمة المعروفة جيدا في دراسات أصل الحياة، ولكني أيضا قدمت الحجة المؤيدة لنظرية التصميم الذكي. فرغم أننا لا نعلم سببا ماديًّا يولد شفرة رقمية وظيفية من مواد فيزيائية وكيميائية مجردة، إلا أننا نعلم –بناءً على خبرتنا المتكررة والمنتظمة– أنه يوجد نمط وحيد له قوة مثبتة في إنتاج هذا النمط من المعلومات، ألا وهو الذكاء أو العقل. وكما لاحظ خبير نظرية المعلومات هنري كاستلر فإن "خلق المعلومات مرتبط عادة بالفعل الواعي".[1] أينما وجدنا معلومات وظيفية؛ سواء كانت مدرجة ضمن إشارات راديوية، أو محفورة في شاهد حجري، أو مودعة في قرص ممغنط، أو أنتجها خبير في أصل الحياة أثناء محاولته إنتاج جزيء ذاتي التضاعف، وتتبعنا تلك المعلومات إلى مصدرها الأول، سنصل بكل تأكيد إلى عقل، وليس إلى عملية مادية بحتة. لهذا السبب، فإن اكتشاف المعلومات الرقمية في أحد أبسط الخلايا الحية يشير إلى الفعل السابق لمصممٍ ذكيٍّ عمِلَ على إنشاء هذه الحياة أولَ مرة.

أثبت كتابي أنه مثير للجدل، لكن بطريقة غير متوقعة، فرغم أني صرحت بوضوح أنني كنت أكتب حول نشوء الحياة الأولى، وحول نظريات التطور الكيميائي التي تحاول تفسيرها من مواد كيميائية أولية بسيطة، إلا أن العديد من النقاد استجابوا له وكأنني كتبت في موضوع مختلف بالكلية. لقد حاول قلة فقط دحض أطروحة كتابي الحقيقية القائلة بأن التصميم الذكي يقدم التفسير الأمثل لنشوء المعلومات الضرورية لإنتاج الحياة الأولى، ماعدا ذلك انتقد الغالبية الكتاب، كما لو أنه قدم نقدا للنظريات الداروينية الجديدة المعيارية حول التطور البيولوجي، وهي النظريات التي تحاول تفسير نشوء الأشكال الجديدة من الحياة انطلاقا من أشكال حية أبسط سبقتها. لذا، ولدحض ادعاءاتي بعدم وجود عمليات تطورية كيميائية ثبتت قدرتها على تفسير

النشوء الأوّلي للمعلومات في الدنا DNA –أو الرنا RNA– الضروري لإنتاج الحياة من مواد كيميائية أبسط موجودة سلفا، استشهد العديد من النقاد بالعمليات القائمة في الكائنات الحية الموجودة، خصوصا (الانتقاء الطبيعي) الذي يعمل على الطفرات العشوائية في المقاطع الموجودة سلفا من الدنا DNA الغني بالمعلومات. أي استشهد هؤلاء النقاد بعمليات غير موجهة تعمل على جزيئات دنا DNA غنية بالمعلومات موجودة سلفا، لدحض حجة تقول بفشل العمليات المادية غير الموجهة في إنتاج المعلومات الموجودة في الدنا DNA لأول مرة.[٢]

فمثلا، حاول عالم البيولوجيا التطورية البارز (فرانسيسكو أيالا Francisco Ayala) دحض كتابي بقوله إن الدليل من الدنا DNA البشري والرئيسيات الأدنى يثبت ظهور جينومات هذه الكائنات الحية نتيجة لعملية غير موجهة وغير معتمدة على التصميم الذكي. بالرغم من أن كتابي لا يتناول مسألة تطور البشر أو يحاول تفسير أصل الجينوم البشري، وبالرغم من أن العملية التي ألمح إليها أيالا تفترض سلفا –بشكل واضح– وجودًا مسبقًا لجينوم غني بالمعلومات في بعض الرئيسيات السفلى المفترضة.[٣]

استشهدت مناقشات أخرى حول الكتاب بالجهاز المناعي عند الثدييات كمثال على قدرة الانتقاء الطبيعي والطفرات على توليد معلومات بيولوجية جديدة. بالرغم من أن الجهاز المناعي عند الثدييات قادر فقط على القيام بتلك الأعاجيب لأن الثدييات المستضيفة له بالفعل حية، مع ذلك يعتمد الجهاز المناعي عند الثدييات على شكلٍ مبرمج سلفًا بالتفصيل من حيث القدرة التكيفية الغنية بالمعلومات الجينية، وهي التي ظهرت بعد زمن طويل من نشوء الحياة الأولى. وقف نقد آخر بقوة ليقول: "تتعلق حجة ماير الرئيسية بعدم قدرة الطفرات العشوائية والانتخاب على إضافة

معلومات للدنا DNA الموجود سلفا"(٤)، وحاول دحض النقد الوارد في كتابي لآليات الداروينية الحديثة في التطور البيولوجي وفقا لذلك.

أجد كل هذا سرياليا نوعا ما، كما لو أنني أهيم في فصل مفقود من رواية لكافكا.[١] كتاب (التوقيع في الخلية) لم ينتقد نظرية التطور البيولوجي، ولم يشكك في قدرة الطفرة والانتخاب على إضافة معلومات جديدة للدنا DNA الغني بالمعلومات الموجودة سلفا. ينطوي الرد بهذه الطريقة –كما فعل منتقدو كتابي– على الاحتكام إلى مغالطة رجل القش.[٢]

أما بالنسبة للذين يجهلون المشاكل الخاصة التي يواجهها العلماء الذين يحاولون تفسير أصل الحياة، فربما ليس واضحًا لهم أن استدعاء (الانتخاب الطبيعي) لا يساعد في تفسير نشوء الحياة الأولى، إذ إن كان الانتخاب الطبيعي والطفرات –في نهاية المطاف– قادرين على إنتاج معلومات جديدة في الكائنات الحية، فلماذا لا يمكنها ذلك في بيئة ما قبل الحياة؟ لكنّ التمييزَ بين السياق الحيوي وما قبل الحيوي مهم بشكل حاسم لحُجّتي، إذ يفترض الانتخاب الطبيعي وجود الكائنات الحية القادرة على التناسل، ومع ذلك فإن التضاعف الذاتي في كل الخلايا الباقية على قيد الحياة يعتمد على البروتينات والأحماض النووية –دنا DNA ورنا RNA– الغنية بالمعلومات، ونشوء هذه الجزيئات الغنية بالمعلومات هو بالضبط ما يحتاج الباحث عن أصل الحياة لتفسيره. هذا الذي يجعل (تيوديسيوس دوزانسكي Theodosius Dobzhansky) –وهو أحد مؤسسي النظرية التركيبية الداروينية

---

١ فرانز كافكا، كاتب وروائي تشيكي، قيل عنه أنه أب الأدب الغربي الحديث.

٢ في هذه المغالطة نجد المحتج يسيء فهم كلام المقابل، أو يخترع كلامًا سخيفًا وينسبه لخصمه، فهو كمن يصنع فزاعة من القش ويهاجمها بدل مهاجمة الشخص الحقيقي.

الحديثة المعاصرة– يقول بطلاقة: "الانتقاء الطبيعي ما قبل الحيوي هو مصطلح متناقض"(٥)، أو كما يشرح عالم الأحياء الجزيئية والباحث في أصل الحياة، الحائز على جائزة نوبل (كريستيان دي دوف Christian de Duve) بأن نظريات الانتقاء الطبيعي ما قبل الحيوي فاشلة لأنها: "تحتاج إلى المعلومات، بما يعني أنها تفترض سلفا وجود ما عليها أن تقوم بشرحه في المقام الأول".(٦) يبدو أنه من غير الكافي استدعاء عملية تبدأ عملها (فقط) بعد وجود الحياة –أو بمجرد ظهور المعلومات البيولوجية– لتفسير أصل الحياة أو أصل المعلومات الضرورية لإنتاجها.

مع ذلك، كنت أدرك منذ زمن طويل الأسبابَ القوية للتشكيك بقدرة الطفرات والانتخاب على إضافة معلومات جديدة كافية –من النوع الصحيح– لتفسير الابتكارات التطورية الكبروية[٣]، لهذا السبب وجدت من المضجر حقا الاعتراف – ولو من باب تجنب الجدال– بصحة شيء أعتقد أنه خطأ.

استمر التثبيط المتكرر من النقاد حتى حدوده القصوى، رغم أنني لم أؤلف الكتب، أو أصغ الحجج، ردًّا على انتقادات النقاد لكتابي (التوقيع في الخلية)، إلا أنني قررت كتابة كتاب.. وهذا هو الكتاب.

بالطبع، ربما بدا أن الطريق الأسلم اتّباعه هو عدم تصحيح أي خطأ حاصل، فالعديد من علماء البيولوجيا التطورية اليوم يعترفون كَرْهًا بعجز جميع نظريات التطور الكيميائي عن توفير شرحٍ كافٍ لأصل الحياة، أو للنشوء الأساسي للمعلومات الضرورية لإنتاج الحياة. إذن لماذا تؤكد على فكرة لم تقم بها في المقام الأول؟

---

[٣] على نطاق كبير؛ أي الثورات المعلوماتية المتعددة التي حدثت بعد نشوء الحياة.

رغم التأثير الواسع للمراجع الدراسية textbooks ووسائل الإعلام الشائعة والمتحدثين باسم المؤسسة العلمية على إيصال الفكرة المخالفة، إلا أن عقيدة النظرية الداروينية الحديثة في التطور البيولوجي قد بلغت طريقا مسدودا وخطيرا تماما، كالمعضلة التي تواجه نظرية التطور الكيميائي. ينتقد الأعلام البارزون اليوم في اختصاصات متعددة من البيولوجيا –بيولوجيا الخلية والبيولوجيا التخليقية والبيولوجيا الجزيئية وعلم الأحافير، بل وحتى البيولوجيا التطورية– العقائد الرئيسية في النسخة الأحدث من النظرية الداروينية، والتي نجدها في الأدبيات الاختصاصية المحكمة والمراجعة من قبل أقران. بمرور السنين ينمو وزن الرأي الناقد للدارونية الحديثة في البيولوجيا باطراد، فمنذ عام ١٩٨٠ صرح عالم الأحافير بجامعة هارفارد (ستفن جاي غولد Stephen Jay Gould) أن الداروينية الحديثة: "ميتة ومنتهية رغم بقائها كتقليد في المراجع الدراسية".(٧)

يلقي تيارٌ مستمر من المقالات والكتب الاختصاصية شكوكا جديدة حول القدرة الخلاقة لآليتي (الطفرة) و(الانتخاب)(٨)، هذه الشكوك مترسخة بشكل جيد لدرجة أنه يتوجب الآن على منظري التطور البارزين الاطمئنان بين الفينة والأخرى على شعبية النظرية، إذ يقول عالم البيولوجيا (دوغلاس فوتوياما Douglas Futuyma) أن "مجرد جهلنا بكيفية حدوث التطور لا يبرر الشك في حصوله بتاتا".(٩) في حين يدعو علماء بيولوجيا تطورية آخرون –وخصوصا المرتبطين بمجموعة العلماء المعروفة باسم (ألتنبرغ Altenberg)(١٦)– للانفتاح على نظرية تطورية جديدة؛ لأنهم يشككون في القدرة الخلاقة لآليتي الطفرة والانتخاب الطبيعي.(١٠)

إن المشكلة الرئيسية التي تواجه الداروينية الحديثة –كما هو الحال في نظرية التطور الكيميائي– هي مشكلة نشوء المعلومات البيولوجية الجديدة، ورغم أن علماء

الداروينية الحديثة يهملون غالبا مشكلة أصل الحياة كشذوذ معزول، إلا أن رواد المنظرين يعترفون بفشل الداروينية الحديثة أيضا في تفسير نشوء التنوعات المبتكرة، والتي من دونها لن يستطيع الانتقاء الطبيعي عمل أي شيء. الواقع أن مشكلة نشوء المعلومات تقبع في جذور مشاكل أخرى معروفة في النظرية الداروينية بنسختها الحالية؛ بدءا من نشوء المخططات الجسدية الجديدة، إلى نشوء البنى والأنظمة المعقدة كالأجنحة والريش والعيون ونظام تحديد المواقع بالصدى ونظام تخثر الدم، والآلات الجزيئية والبيضة السلوية والجهاز العصبي وتعدد الخلايا وغيرها الكثير.

في الوقت نفسه لا تتضمن الأمثلة التقليدية الموضحة لبراعة الانتقاء الطبيعي والطفرات العشوائية خلق المعلومات الجينية المبتكرة. تخبرنا العديد من النصوص البيولوجية عن العصافير الشهيرة في جزر الغالاباغوس، التي تنوعت مناقيرها في الشكل والطول بمرور الزمن. وتذكر هذه النصوص أيضا كيف أن جماعات العث في بريطانيا تحولت للون أغمق، من ثم عادت نحو اللون الأفتح استجابة للمستويات المتباينة من التلوث الصناعي. تعرض مثل هذه المشاهد كأدلة حاسمة على قوة التطور، لكن الحقيقة أنها تعتمد على التعريف الذاتي لكلمة التطور، إذ أن لهذا المصطلح معان متعددة، وقليلة هي المراجع الدراسية البيولوجية التي تميز بينها، إذ يمكن أن يشير التطور لأي شيء بدءا من التغير السطحي الدَّوري في حدود الحوض الجيني الموجود سلفا، وصولا إلى خلق البنى والمعلومات الجينية المبتكرة كليا كنتيجة للانتقاء الطبيعي العامل على الطفرات العشوائية. يشرح عدد كبير من علماء البيولوجيا البارزين في الأوراق البحثية التخصصية الحديثة أن التغيرات التطورية الصغروية –الميكروية صغيرة النطاق– لا يمكن تعميمها لتفسر الابتكارات التطورية الكبروية –الماكروية كبيرة النطاق.[١١] وفي معظم الأحيان تستخدم التغيرات التطورية

الصغروية –كالتغاير في الشكل أو اللون– معلومات جينية موجودة أو معبر عنها، في حين أن التغيرات التطورية الكبروية الضرورية لتجميع أعضاء جديدة أو مخططات جسدية كاملة تتطلب خلق معلومات جديدة بالكلية. كما يلاحظ عدد متزايد من علماء الأحياء التطورية أن الانتخاب الطبيعي يفسر "بقاء الأكثر تكيفا فقط، ولا يفسر ظهور الأكثر تكيفا".[١٢] تزخر المنشورات المتخصصة في علم البيولوجيا بأسماء علماء بيولوجيا من المستوى العالمي[١٣] الذين يعبرون بشكل روتيني عن شكهم في جوانب النظرية الداروينية الحديثة، خصوصا العقيدة المركزية فيها، والتي هي القدرة الخلاقة المزعومة للانتقاء الطبيعي والطفرات.

بالرغم من ذلك، تستمر الدفاعات الشائعة عن النظرية، ونادرا ما يتم الاعتراف بالرأي العلمي المتزايد الناقد لموقف النظرية –إن لم نقل غياب هذا الاعتراف بشكل مطلق–. بهذا الشكل، قليلا ما يظهر تباين عظيم بين الإدراك الشائع للنظرية وبين الموقف الحقيقي لها في المنشورات العلمية المحكمة المراجعة من قبل الأقران. ويبدو اليوم أن الداروينية الحديثة المعاصرة تتمتع باستحسان عالمي بين المدونين والصحفيين العلميين وكتّاب المناهج البيولوجية وثُلّة من أشهر المتحدثين باسم العلم كنظرية عظيمة موحدة لكل البيولوجيا. تُقدم مناهجُ الجامعات والمدارس العليا العقيدة التطورية دون مبرر، ولا تعترف بوجود انتقادات علمية مهمة لها. في الوقت نفسه، المنظمات العلمية الرسمية مثل: (الأكاديمية الوطنية للعلوم National Academy of Sciences) و(الجمعية الأمريكية لتقدم العلوم American Association for the Advancement of Sciences) و(الجمعية الوطنية لمدرسي البيولوجيا National Association of Biology Teachers) تطل بشكل دوري على العامة لتقول بأن النسخة المعاصرة من النظرية

الداروينية تتمتع بدعم غير مسبوق بين العلماء المؤهلين، وأن الدليل البيولوجي يدعم بشكل ساحق النظرية. على سبيل المثال، في عام ٢٠٠٦ صرحت (AAAS) بـ"عدم وجود أي جدل مهم ضمن المجتمع العلمي حول صلاحية نظرية التطور".[١٤] ردد الإعلام هذه التصريحات، وأكدت الكاتبة العلمية في صحيفة نيويورك تايمز (كورنيليا دين Cornelia Dean) عام ٢٠٠٧ أنه "لا وجود لأي تحد علمي مرموق لنظرية التطور كتفسير للتعقيد والتنوع الحيوي على الأرض".[١٥]

أدركتُ بمرارة مدى التفاوت بين المكانة الجماهيرية المزعومة للنظرية ومكانتها الحقيقية التي تذكر في المجلات التخصصية المحكمة، في الوقت الذي كنت أتجهز فيه للشهادة أمام هيئة التعليم في ولاية تكساس عام ٢٠٠٩. وكانت الهيئة في ذلك الوقت تنظر في تبني فقرة شرطية في معاييرها العلمية التربوية تشجع المدرسين على إعلام الطلاب بقوة وضعف النظريات العلمية، أصبحت هذه الفقرة أزمة سياسية بعد أن أكدت عدة مجموعات أن (قوة التعليم وضعفه) هي الكلمات المفتاحية للخلقيين الإنجيليين المطالبين بإزالة تدريس نظرية التطور من المناهج. رغم توكيد المدافعين عن الفقرة أنها لا تجيز تعليم مذهب الخلق ولا تحظر نظرية التطور، إلا أن المعارضين لها غيروا ادعاءاتهم، فهاجموا الفقرة بالتأكيد على عدم وجود حاجة للنظر في نقاط الضعف في النظرية التطورية الحديثة، لأنه "لا يوجد نقاط ضعف في نظرية التطور"[١٦] كما قالت (يوجين سكوت Eugenie Scott) المتحدثة باسم (المركز الوطني للتعليم العلمي) في تصريح لصحيفة (The Dallas Morning News).

في الوقت عينه كنت أجهز حزمة من مئة مقالة علمية محكمة، يستعرض فيها علماء البيولوجيا المشاكل الجسيمة في النظرية، وقد عرضتها لاحقا أمام هيئة التعليم أثناء شهادتي. لذا علمت بشكل قاطع أن د. سكوت كانت تحرف رأي المجتمع

العلمي حول النظرية في المنشورات العلمية ذات الصلة، وعلمتُ أيضا سبب محاولاتها منع الطلاب من سماع شيء حول المشاكل الجسيمة التي تعتري النظرية التطورية، والتي ربما قضّت مضجع داروين نفسه. يعترف داروين في كتابه حول أصل الأنواع بكل صراحة بنقاط الضعف الرئيسية التي تعتري نظريته، ويقر بشكه حول المواضيع الأساسية فيها، لكن المدافعين عن منهاج دارويني بحت لا يريدون ذلك، ولا يريدون حتى أي شكوك علمية حول النظرية الداروينية المعاصرة الملقاة إلى أذهان الطلاب.

يوثق هذا الكتاب شكَّ داروين الأكبر، وماذا جرى له، ويختبر حدثًا مهما في فترة حاسمة من التاريخ الجيولوجي ظهرت فيه أعداد هائلة من الأشكال الحيوانية فجأة، ودون أسلاف تطورية محفوظة في السجل الأحفوري؛ وهو الحدث الغامض الذي يرمز له عادة بـ(الانفجار الكامبري). وكما أقر داروين بنفسه في كتابه (أصل الأنواع)، فقد نظر داروين لهذا الحدث على أنه شذوذ مقلق يرجو من الاكتشافات الأحفورية المستقبلية أن تقضي عليه نهائيًا. قسمتُ الكتابَ لثلاثة أجزاء رئيسية...

يصف الجزء الأول (لغز الأحافير المفقودة) المشكلة التي ولّدت شكوك داروين أولا، ألا وهي الأسلاف المفقودة لحيوانات العصر الكامبري في السجل الأحفوري ما قبل الكامبري السابق، ومن ثم يسرد المحاولات المستمرة والفاشلة التي قام بها علماء الأحياء والأحافير لحل هذا اللغز.

ويفسر الجزء الثاني الذي أسميته (كيف تبني حيوانا) سبب تزايد حدة معضلة الانفجار الكامبري باكتشاف أهمية المعلومات للأنظمة الحية، حيث يعرف علماء الأحياء الآن أن الانفجار الكامبري لا يمثل انفجارا لأشكال وبنى حيوانية جديدة

وحسب، إنما هو انفجار معلوماتي، كان في الحقيقة أحد أكبر الثورات المعلوماتية في تاريخ الحياة. يختبر الجزء الثاني مشكلة كيفية إنتاج المعلومات البيولوجية الضرورية عبر الآليات غير الموجهة -الانتقاء الطبيعي والطفرات العشوائية- لبناء الأشكال الحيوانية الكامبرية، وتشرح مجموعة الفصول هذه السبب الذي يجعل العديد من علماء الأحياء البارزين الآن يشككون في القدرة الخلاقة للآليات الداروينية الحديثة، وتقدم أربعة انتقادات للآليات بناءً على الأبحاث البيولوجية الحديثة.

يقيم الجزء الثالث (ماذا بعد داروين؟) النظريات التطورية الأحدث، لنرى إن كان أيًّا منها يشرح أصل الأشكال والمعلومات بشكل أكثر كفاءة مما تقوم به النظرية الداروينية الحديثة، كما يقدم الجزء الثالث ويقيم نظرية التصميم الذكي كحل ممكن للمعضلة الكامبرية. في حين يناقش الفصل الختامي آثار الجدل حول التصميم في البيولوجيا على الأسئلة الفلسفية الأكبر، والتي تبعث الحياة في معنى وجود الإنسان.

كما يدل عنوان الكتاب، سأوضح كيفية تحول شذوذ معزول، اعترف داروين بكونه (عابرا)، ليتبلور إلى مشكلة جوهرية لكل البيولوجيا التطورية؛ مشكلة نشوء الأشكال والمعلومات البيولوجية.

لكي نعرف منبع تلك المشكلة، والسبب الذي يجعل البيولوجيا التطورية في أزمة، فإننا نحتاج للبدء من الصفر، مع شك داروين نفسه، ومع الدليل الأحفوري الذي ولد ذلك الشك، ومع الجدال الصاخب بين ندّين من أشهر علماء الطبيعة في العصر الفيكتوري؛ عالم الأحافير الشهير من جامعة هارفارد (لويس أغاسيس Louis Agassiz) و(تشارلز داروين) نفسه.

الجزء الأول

لغز الأحافير المفقودة

الفصل الأول

خصيم داروين

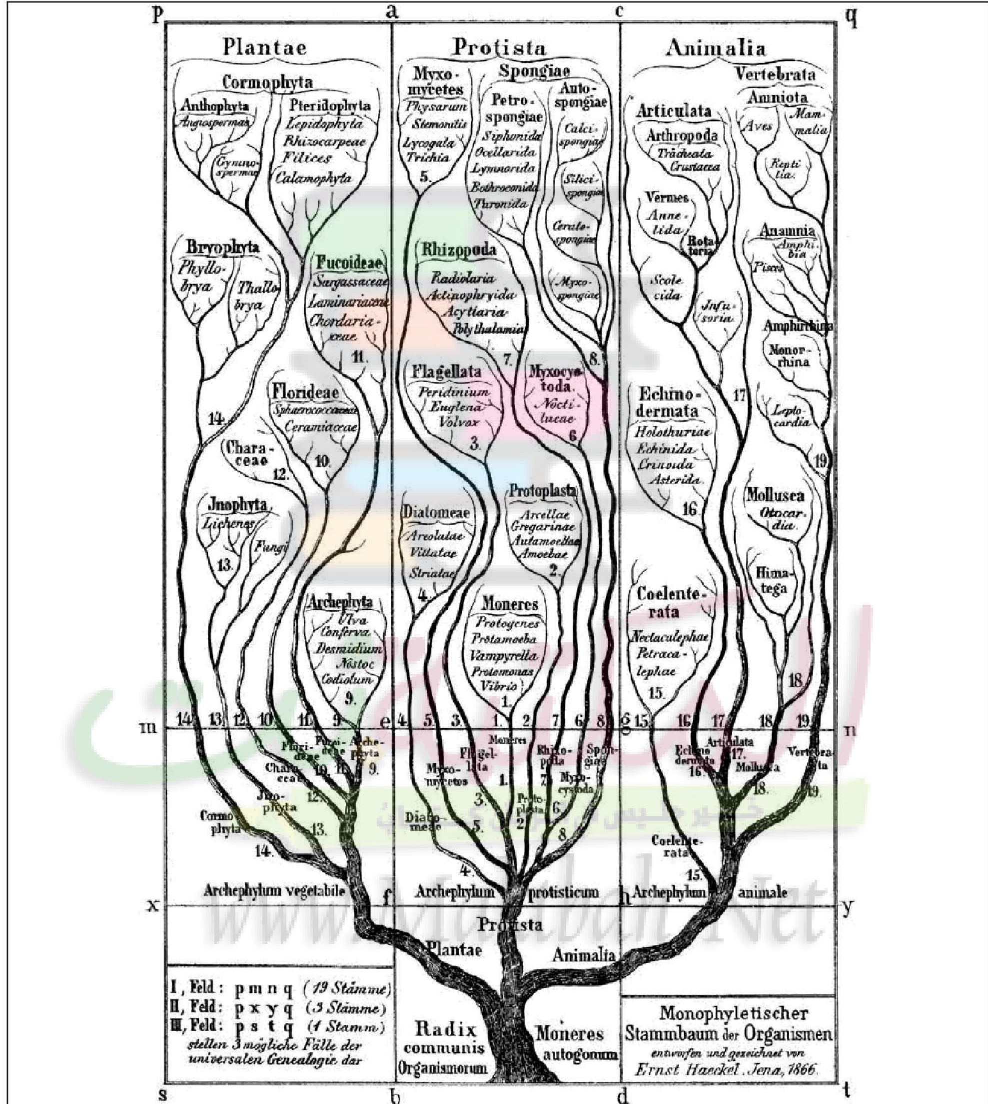
خصيم داروين

ظَنَّ تشارلز داروين، عند انتهائه من تأليف كتابه، أنَّه قد حلّ كل الألغاز إلا لغزًا واحدا. كان كتابُ أصل الأنواع إنجازًا فريدًا بكل المعايير؛ إذ دَمج هذا العمل الطموح بين عناصر متباينة في توليفة عظيمة –كما في بُنيان الكاتدرائية القوطية الكُبرى– فسَّر فيه عدة ظواهر من مجالات مختلفة كعلم التشريح المقارن وعلم الأحافير وعلم الأجنة وعلم الجغرافيا الحيوية، مع بساطته المتناهية –إلى حدٍّ بعيد– في الوقت نفسه فشرح الكتابُ العديد من أصناف الأدلة البيولوجية اعتمادًا على فكرتين تنظيميتين أساسيتين شكلا ركنين لنظريته، وهما فكرة الأصل العام المشترك، والاصطفاء الطبيعي.

مَثّل الركن الأول –الأصل العام المشترك– نظرية داروين عن تاريخ الحياة، فأكد على فكرة أنَّ جميع أشكال الحياة قد انحدرت من أصل واحد مشترك في وقت ما من الماضي السحيق، ويُجادل داروين في مقطع شهير بنهاية كتابه هذا أنَّ "كل الكائنات العضوية التي عاشت على سطح الأرض قد جاءت في وقت ما من شكل بدائي واحد"[1]، وظنَّ داروين أنَّ هذا الكائن البدائي قد تطوّر تدريجيًّا إلى أشكال أخرى جديدة من الحياة، لينتج في النهاية، بعد ملايين الأجيال، كل أشكال الحياة المعقدة التي نراها اليوم.

اِعْتادت كتبُ البيولوجيا في وقتنا الحاضر على توصيف هذه الفكرة –تمامًا كما فعل داروين– عبر رسم شجرة كبيرة متفرعة، فيمثّل جذع شجرة الحياة كما تخيَّلها داروين الكائن المتعضي البدائي الأول، في حين تمثّل الفروع والأغصان الأشكال الحديثة التي تطوَّرت عنه (انظر الشكل ١-١)، ويمثل المحور العمودي

في مخطط الشجرة الخط الزمني، أمَّا المحور الأفقي فيمثل التغيرات في الأشكال البيولوجية، أو ما يدعوه البيولوجي التباعدَ المورفولوجي -الشكلي الظاهري-.



الشكل (١-١): شجرة داروين لتطور الحياة. كما صوَّرها التطوري الألماني إرنست هيغل Ernst Haeckel في القرن التاسع عشر.

عادةً ما يَدعو البيولوجيون نظرية داروين حول تاريخ الحياة بـ(الأصل العام المشترك)؛ للإشارة إلى أنَّ كل مُتعضية على سطح الأرض نشأت من سلف مشترك بعملية (النشوء والارتقاء). وحاجج داروين بأنَّ هذه الفكرة تَشْرح جيدًا العديد من الأدلة البيولوجية: كتسلسل الأشكال الأحفورية، والتوزع الجغرافي للأنواع المختلفة -كما في طيور جزر الغلاباغوس-، بالإضافة إلى التشابهات الجنينية والتشريحية بين الكائنات المتمايزة كثيرًا عن بعضها البعض.

أمَّا الركن الثاني لنظرية داروين فيؤكد على القوة الخلَّاقة لعملية أسماها (الاصطفاء الطبيعي)؛ وهي عملية تَعمل على التباينات العشوائية في الصفات أو الخصائص المرتبطة بالكائن الحي وبذريته.[2] فبينما افترضت نظرية الأصل العام المشترك نمط (الشجرة المتفرعة) لتمثيل تاريخ الحياة، جاءت فكرة داروين عن الاصطفاء الطبيعي لتشير إلى العملية التي ادَّعى أنَّ بإمكانها توليد التغيرات الظاهرة في شجرته المتفرعة للحياة.

قام داروين بصياغة فكرة الاصطفاء الطبيعي بمحاكاةٍ عمليةٍ مألوفةٍ تماما؛ وهي (الاصطفاء الاصطناعي) أو (تهجين الحيوانات الاصطفاءي)، فقد كان تهجينُ الحيوانات المدجنة -كالكلاب والأحصنة والخراف والحمام- متداولًا في القرن التاسع عشر، واستطاع الإنسان تعديل خصائص مجموعة الحيوانات في المدجنة، عبر السماح لحيوانات ذات سمات معينة فقط بالتكاثر.

كان رعاة الغنم في الشمال الإسكوتلندي يزاوجون بين أغنامهم لتُصبح أغزر أصوافًا؛ ما يعزز من فرص نجاتها من البرد، وجني المزيد من الصوف. وليتحقق هذا فليس على الراعي سوى أن ينتقي الذكور والإناث ذات الأصواف الكثيفة لعملية

التكاثر، وإن استمر باصطفاء ومزاوجة الأغنام ذات الصوف الكثيف من بين الذرية الناتجة جيلًا بعد جيل فسيحصل في النهاية على سلالة خراف أكثف صوفًا، وفي تلك الحالة "كانت قدرة البشر على إحداث الاصطفاء التراكمي هي مفتاح الاصطفاء"، وكتب داروين: "تولِّد الطبيعة اختلافات variations ناجحة، يجمعها الإنسان باتجاه معين يخدمه".[٣]

لاحظ داروين أنَّ الحَمَام انقسم إلى سلالات بينها فروق طفيفة:

- الحمام الزاجل بجفنيه الممتدين و"فتحة الفم الواسعة".
- وطائر البهلوان قصير الوجه short-faced tumbler بمنقاره الذي يشابه عمومًا منقار عصافير الدوري finch.
- طائر البهلوان الشائع الشغوف بالطيران في تشكيلات مغلقة، وبهلوانياته الجوية "وكأنَّه يدور رأسًا على عقب".
- وربما الأكثر غرابة بين هذه السلالات حمام البوتر pouter، بساقيه وأجنحته التي استطالت، وجسده الممتلئ بسبب حوصلته النامية كثيرًا، ما زاد من شهرته بين الزبائن المصابين بالذهول.[٤]

بالطبع لقد وصلت هذه الطيور إلى مرحلة مذهلة من التّحوّل، عن طريق التمحيص المتأني والاصطفاء، لكن كما أوضح داروين، إن للطبيعة أيضًا طرقها الخاصة في التمحيص؛ فالكائنات المعيبة نادرًا ما تَبقى حية وتتكاثر وتمرر مميزاتها إلى جيل آخر، وحاجج داروين في كتابه أصل الأنواع بأنَّ تلك العملية –الاصطفاء الطبيعي العامل على التغايرات العشوائية– قادرة على تعديل خصائص الكائنات، تمامًا كما يفعل الاصطفاء الذكي الذي يُمارسه البشر –كمُربي الحيوانات–، فالطبيعة بحد ذاتها قادرة على لعب دور المربي.

ولننظر مرة أخرى إلى خرافنا ذات الأصواف؛ تخيَّل أنَّه بدلًا من الاصطفاء البشري للخراف والنعاج الصوفية، تقتُلُ سلسلةٌ متتابعةٌ من الشتاءات القارسة كلَّ الخراف، باستثناء ذوات الصوف الكثيف، والتي تستطيع البقاء حية، والتكاثر، وإن استمر الشتاء البارد لعدة أجيال فستكون النتيجة تمامًا مماثلة لتلك التي حصل عليها المربّون من قبل، أليس كذلك؟ ألن تُصبحَ قطعان الخراف في النهاية ذات صوف كثيف مميز؟

تلك كانت أعظم استبصارات داروين، إذ يمكن للطبيعة –بوصفها بيئة متغيرة– أو عوامل أخرى متغيرة الحصول على التأثير ذاته المطبق على جمهرات الكائنات، كما لو فرض التغيير بقرار مسبق من كائنات ذكية، إذ ستفضل الطبيعة الحفاظ على نماذج معينة بدلًا من أخرى، وخصوصًا تلك النماذج التي تُورث ميزة تكاثرية أو ميزة تعزز البقاء على قيد الحياة مقارنة بباقي الكائنات التي لا تَملِكُها، مسببة بذلك تغيرًا في خصائص المجموعات، وبالتالي قد حدثت النتيجة ولكن ليس على يد مُرَبٍّ ذكي يختار الصفات أو التباينات المفضلة بـ(الاصطفاء الاصطناعي)، وإنَّما من خلال عملية طبيعية تمامًا، واستنتج داروين فوق ذلك أنَّ عملية الاصطفاء الطبيعي هذه والتي تعمل على التباينات التي تظهر عشوائياً هي "عامل التغيير الأساسي" في نشوء الفروع الكبيرة من شجرة الحياة بكل اختلافاتها.

حاز كتابُ أصل الأنواع لداروين على اهتمام الوسط العلمي بشكل صاعق؛ فمحاكاة داروين للاصطفاء الاصطناعي كانت قوية، وآليته المقترحة للاصطفاء الطبيعي والتباينات العشوائية سهلة الإدراك، ومهارته في تشتيت الآراء المضادة منقطعة النظير. فوق ذلك، كانت حجته المنصبة على تفسير الأصل العام المشترك

مؤسسة بمهارة متقنة، وفي نهاية (أصل الأنواع) بدا للكثير أن داروين قد فنَّد الاعتراضات الممكنة الطرح ضد نظريته باستثناء واحد منها.

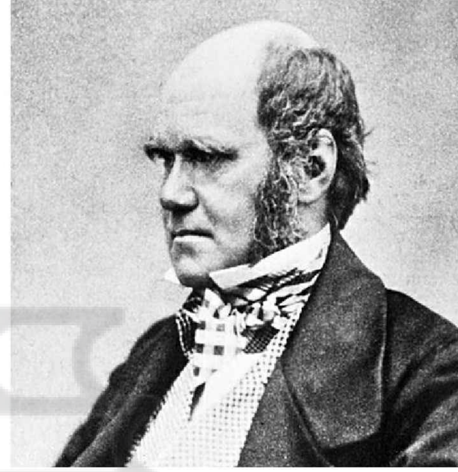
الشذوذ: شك داروين

بغض النظر عن رؤية الاصطناع الخاصة به، إلا أن هناك مجموعة واحدة من الأدلة أشكلت على داروين، وهي مجموعة اعترف بها وعرف أن نظريته لا تقوى على شرحها كفاية، على الأقل حتى يومه ذاك. لقد كان داروين متحيرًا بوجود نمط في السجل الأحفوري بدا أنَّه يُوثّق الظهور الجيولوجي المفاجئ للحيوانات، في الحياة في غضون فترة وجيزة من التاريخ، وقد أطلق على تلك الفترة العصر السيلوري Silurian، لكنَّها عُرفت لاحقًا باسم العصر الكامبري.

فخلال تلك الحقبة الجيولوجية ظَهرت العديدُ من الكائنات المعقدة تشريحيًّا –فجأة– في الطبقات الرسوبية من العمود الجيولوجي، دون أي دليل على وجود أسلاف أبسط في الطبقات الأسبق، والتي تموضعت تحت تلك الطبقات، ويُسَمي علماءُ الأحافير اليوم حادثة الظهور المفاجئ تلك بالانفجار الكامبري، وقد وصف داروين بصراحة مخاوفه المتعلقة بهذا اللغز في كتاب أصل الأنواع بقوله: "إنَّ صعوبةَ فَهم غياب الكثير من أكوام الطبقات الأحفورية، والتي وفق نظريتي –ودون أدنى شك– لا بد أنَّها توجد متكدسة في مكان ما قبل العصر السيلوري (الكامبري)، لَأَمرٌ عظيم"، "وأشير هنا إلى الأسلوب الذي تظهر فيه العديد من الأنواع من ذات المجموعة فجأة في أدنى الصخور الأحفورية المعروفة".[٥] لا يَتَّفقُ الظهور المفاجئ للحيوانات في وقت مبكر من السجل الأحفوري مع نظرية داروين الجديدة عن التغير التطوري التدريجي، كذلك كان هناك عَالِمٌ منعه من نسيان تلك القضية.

الغريم

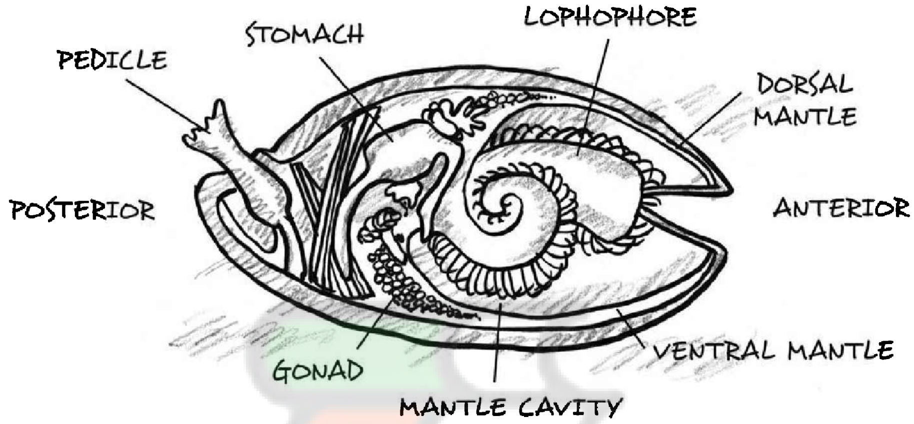
كان عالم المستحاثات لويس أغاسيس Louis Agassiz السويسري المولد والعامل في جامعة هارفرد أحد أفضل العلماء المتقنين في عصره، وقد كان عارفًا بالسجل الأحفوري أفضل من أي شخص معاصر له، وقد أرسل له داروين نسخة من كتابه أصل الأنواع في محاولة لتجنيده كحليف له وطلب منه النظر في تلك الحجة بعقلية منفتحة.(انظر الشكل ١-٢) يكاد المرء يتخيل عالم الطبيعة القدير وهو يتلقى طردًا غير مهم من ساعي البريد، فيفض الطرد الأخضر الصغير الذي أثار تلك العاصفة على جانبي الأطلنطي، ربما تقاعد عن دراسته من أجل التركيز على تدقيق الكتاب ذي العنوان الجذاب، مستدعيًا كل ما سمعه حول هذا العمل، لقد قرأ الكتاب باهتمام بالغ، مدونًا ملاحظات على الهوامش كلما انتقل عبر الكتاب، ولكنّ كلماته اللاذعة في النهاية خيبت مؤلف ذلك الكتاب، حيث استنتج أغاسيس أن السجل الأحفوري –وبالأخص سجل حياة حيوانات الانفجار الكامبري– يُشَكِّل عقبة لا يمكن لنظرية داروين تجاوزها.

الشكل (١–٢a اليسار): لويس أغاسيس. الشكل (١–٢b اليمين): تشارلز داروين.

الهجوم من محورين

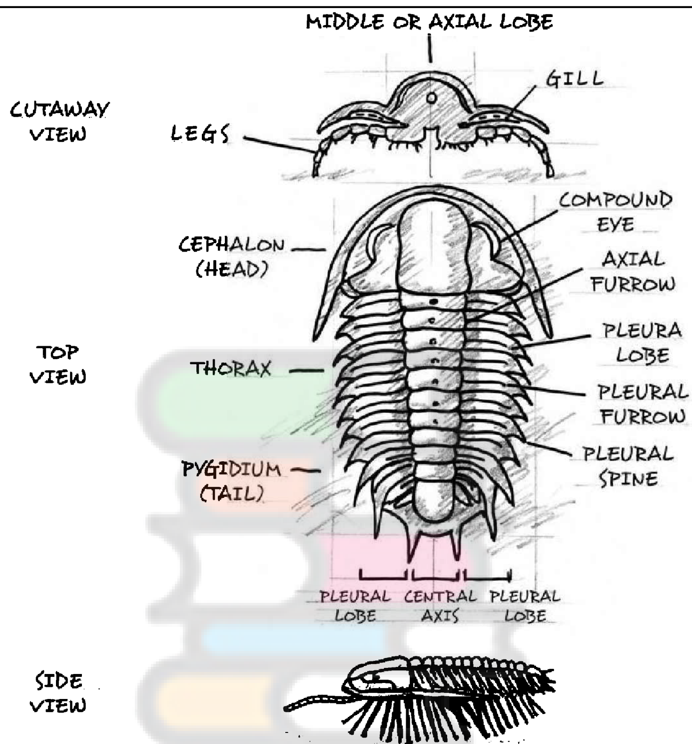
لكي تعلم السبب، انظر إلى ذراعيات الأرجل brachiopods، وثلاثيات الفصوص trilobites، وهما اثنتان من أفضل المخلوقات توثيقًا في السجل الأحفوري الكامبري في عام ١٨٥٩؛ إذ تبدو ذراعيات الأرجل (انظر الشكل ١–٣) بصَدَفتيها كالبطلينوس أو المحار، لكنها مختلفة تمامًا من الداخل، وكما هو موضح في الشكل المرفق تملك ذراعيات الأرجل غدة وقشرة وتجويفًا قشريًّا وجدارًا أماميًّا للجسم وتجويفًا جسديًّا وأمعاء وحاملًا للخصلة lophophore (عضو يجمع الطعام كحلقة من المجسات، وغالبًا يكون ملتفًا أو على شكل حدوة حصان، مع فم في داخل الحلقة المجسية، وشرج إلى الخارج). تبدي تلك الكائنات مخططًا جسديًّا معقدًا للغاية، وكذا العديد من أفراد الكائنات ذات الأجزاء والأنظمة التشريحية المعقدة، إذ تكون مجساته على سبيل المثال مغطاة بالأهداب المرتبة بدقة لتوليد تيار مائي ذي اتجاه محدد نحو الفم.[٦]

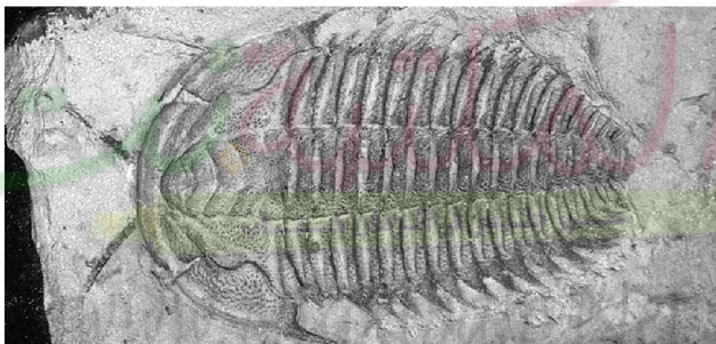






الشكل: (١–٣). الشكل ١–٣a (في الأعلى): التشريح الداخلي لذراعيات الأرجل. الشكل ١–٣b (من الأسفل واليسار): أحفورة من ذراعيات الأرجل تُظهر بقايا البنية الداخلية، بإذن من Paul Chien. الشكل ١–٣c (من الأسفل واليمين): أحفورة تُظهر البنية الخارجية لصدفة ذراعيات الأرجل، بإذن من Corbis.





الشكل: (١–٤). الشكل ١–a٤ (في الأعلى): تشريح ثلاثيات الفصوص. الشكل ١–b٤ (من الأسفل): أحفورة لثلاثية الفصوص من نوع Kuanyangia pustulosa، بالإذن من Illustra Media.

كانت ثلاثيات الفصوص أكثر تعقيدًا (انظر الشكل ١-٤) بفصوصها الطولية على امتداد رأسها (فص متوسط بارز وفصان جانبيان مسطحان على جانبيه)، وينقسم الجسد إلى ثلاثة أجزاء – الرأس والصدر والذيل-، حيث يتشكل الرأس والصدر من حوالي ٣٠ قطعة، في كل ثلم جانبي تجد زوجًا من الأرجل، بالإضافة لثلاثة أزواج أخرى للرأس، لكن الأكثر إثارة من كل هذه التفاصيل هو العيون المركبة التي توجد حتى في أقدم ثلاثيات الفصوص؛ وهي عيون تمنح هذه الكائنات غير البدائية مجال رؤية يُقدَّر بـ٣٦٠ درجة.[٧]

لقد شكَّل الظهور المفاجئ لتلك البُنى التشريحية المعقدة المصممة تحدٍ لكل من الركنين الأساسيين لنظرية داروين في التطور.

الانفجار الكامبري وعمل الاصطفاء الطبيعي

شكَّل الدليل الأحفوري من العصر الكامبري تحديًا كبيرًا لمزاعم داروين عن قدرة الاصطفاء الطبيعي على إنتاج أشكال جديدة من الحياة، والتي وصفها داروين بالقدرة على إنتاج تغييرات بيولوجية مهمة اعتمادًا على وجود ثلاثة عناصر مهمة:

(١) التباينات التي تَظهر عشوائيًّا.
(٢) توارثية تلك التباينات.
(٣) الصراع على البقاء الذي يُثمر تباينات في النجاح التكاثري بين المتعضيات المتنافسة.

وحسب ما ذكره داروين فإنَّ التنوعات في الصفات تظهر عشوائيًّا، وقد تمنح بعضُ التنوعات كـ(الصوف الكثيف) بعض الأفضلية في الصراع، للبقاء ضمن ظروف

بيئية محددة، وستحفظ التنوعات الموروثة، والتي تنقل ميزات وظيفية أو ميزات البقاء في الجيل التالي، وفي الوقت الذي تَنْتَخِبُ فيه الطبيعة أولئك الذين امتلكوا تنوعات وخصائص ناجحة يَحدث التغيير في سمات الجماعة.

اعترف داروين أن التنوعات المفيدة المسؤولة عن التَّغيُّر الدائم في الأنواع نادرة وضئيلة بالضرورة، بينما تسبب التغيرات الكبيرة في الأشكال –أو ما سيدعوه لاحقًا علماء البيولوجيا التطورية بالتطور الكبروي– حتمًا تشوُّهًا كبيرًا ثم الموت، وبالتالي لن يَخضعَ لاختبار الصلاحية والموروثية سوى التنوعات الصغيرة.

نستنتج من هذا –بالنظر إلى عمرنا البشري المحدود– أنَّه من الصعب أو المستحيل اكتشاف وملاحظة التحسينات التي توفّرها هذه الآلية التطوّرية، ولكن مع الزمن الكافي، ستتراكم التنوعات المفضلة تدريجيًّا وتُسهم في ظهور الأنواع الجديدة، وبمزيد من الوقت ستتشكَّلُ أيضًا مجموعات أساسية من المتعضيات وبتصميم جسدي جديد.

جادل داروين أنه إن استطاع الاصطفاء الاصطناعي استحضار العديد من السلالات الغريبة من السلالات الشائعة في عدة قرون فلك أن تتخيل الذُرِّيَة التي سنحصل عليها في غضون ملايين السنين بالاصطفاء الطبيعي، وحتى يُمكن تفسير أصل البُنى المعقدة –كعين الثديات التي بدت منذ البدء وحتى اليوم تحديًا كبيرًا لنظريته– إن افترض المرء وجود البنية البدئية البسيطة (كاللطخة الحساسة للضوء) والتي يمكن أن تتعدل تدريجيًّا عبر حقب زمنية طويلة.

ومن هنا كان المأزق، فآلية داروين في الاصطفاء الطبيعي والتنوعات العشوائية تتطلب بالضرورة مدة زمنية طويلة لتولّد كائنًا جديدًا بالكلية، ومن هنا نشأت المعضلة التي تحمّس أغاسيس لفضحها.

في العام ١٨٧٤ شرح أغاسيس في مقالة شهرية في الأتلنتيك بعنوان (التطور وبقاء النمط) أسبابه التي دفعته للتشكيك في القوة الخلَّاقة التي يَملكُها الاصطفاء الطبيعي، وجادل بأنَّ التنوعات الصغيرة لم تؤد قط إلى "اختلاف واضح"؛ أي اختلاف في الأنواع، وفي الوقت ذاته فإن التنوعات الكبيرة –سواء جاءت بالتَّدريج أو فجأة– أنتجت لنا بالتأكيد كائنات عقيمة أو ميتة، وكما قال بالضبط: "إنَّها مسألة مثبتة، تتفسخ التنوعات الكبيرة في النهاية، أو تكون عقيمة، كما تموت المسوخ".[٨]

أصر داروين بنفسه على أن عملية التغير التطوري الحاصل الذي يتخيله يَحصُل، ولابد أنَّه متدرج، ولذات السبب أدرك داروين أن بناء أحد ثلاثيات الفصوص مثلًا انطلاقًا من وحيد الخلية بواسطة الاصطفاء الطبيعي ووفق خطوات صغيرة متتالية سيتطلب عددًا لا منتهيًا من الأشكال الانتقالية وتجارب بيولوجية فاشلة أيضًا على مدى الزمن الجيولوجي. سيشرح لنا عالم الأحافير من جامعة واشنطن بيتر وارد Peter Ward هذا الأمر، فقد كان لداروين توقعاته الخاصة لما قد سيجده عالم الأحافير تحت الطبقات المعروفة للأحفورات الحيوانية–خصوصًا، يقول وارْد: "تُبدي الطبقات البينية أحافير ذات تَعقيد متزايد حتى نَصلَ في النهاية إلى ظهور ثلاثيات الفصوص".[٩] وكما علَّق داروين: "إن كانت نظريتي صحيحة، فممَّا لا جدال فيه أننا سنجد قبل الطبقات السيلورية (الكامبرية) أشكالًا انتقالية كاملة مترسبة منذ مدة طويلة منصرمة على طول العصر السيلوري –أو ربما لمدة أطول– حتى يومنا هذا، وذلك خلال تلك الحقب الطويلة والمجهولة من الزمن التي كان العالم فيها مفعمًا بالمخلوقات الحية".[١٠]

إن على آلية الاصطفاء الطبيعي العمل تدريجيًّا لزيادة التنوعات الصغيرة، وبالطبع فإن نوع تلك التنوعات التي لاحظها داروين ووصفها أثناء وضعه محاكاته بين الاصطفاء الطبيعي والاصطناعي كانت تخص التباينات الصغيرة.

وعبر اصطفاء وتراكم التنوعات الصغيرة على مدى العديد من الأجيال استطاع المربون إنتاج التغيرات المدهشة في خصائص الذرية، وهي تغيرات –مهما بلغت من الغرابة– بسيطة إذا ما قورنت بالاختلافات الجذرية التي ظهرت ما بين أشكال الحياة ما قبل الكامبري وأشكال الكامبرية.

في نهاية الأمر كما دوَّن أغاسيس ملاحظته على عَجَل، فإنَّ الحمائم التي استشهد بها داروين للاستدلال على القوة الخلاقة للاصطفاء الصناعي (وقياسًا عليه الاصطفاء الطبيعي) لا تزال حمائم، إذ ستحتاج التغيرات الأكثر أهمية للشكل والبنية التشريحية عبر منطق داروين إلى ملايين السنين التي لا تعد ولا تحصى، وهذا ما يبدو غائبًا تمامًا في حالة الانفجار الكامبري.

الانفجار الكامبري وشجرة الحياة

يَطرحُ الظهور المفاجئ لكائنات العصر الكامبري أيضًا صعوبة ترتبط بالتصور الدارويني لشجرة الحياة المتفرعة المتصلة، فلإنتاج أشكال حيوانية جديدة تمامًا من خلال الآلية الداروينية يَتَطلَّبُ الأمر –وفق منطقها الداخلي نفسه– ليس فقط ملايين السنين، بل أجيالًا لا تحصى من الأسلاف، ولذلك رغم الوصول إلى اكتشاف حفنة من الأشكال الوسيطة المعقولة الداعمة للارتباط المزعوم بين السلف ما قبل الكامبري والخلف الكامبري فلن نَقتربَ من التوثيق الكامل للتصوّر الدارويني لتاريخ الحياة، وجادل أغاسيس بأنَّه إن كان داروين محقًّا، فعلينا ألا نَجِدَ

فقط حلقة مفقودة واحدة أو حلقتين، بل سيوجد عدد غير محدود من الكائنات الوسيطة التي تتدرَّجُ بشكل طفيف غير ملحوظ وصولًا إلى الخلف المفترض. على أيَّة حال لم يجد الجيولوجيون تلك الأعداد الضخمة من الأشكال الانتقالية التي قادت إلى كائنات العصر الكامبري، بل كان عمود طبقات الأرض يَدعمُ –بدلًا من ذلك– الظهور المفاجئ لتلك الحيوانات الأوائل.

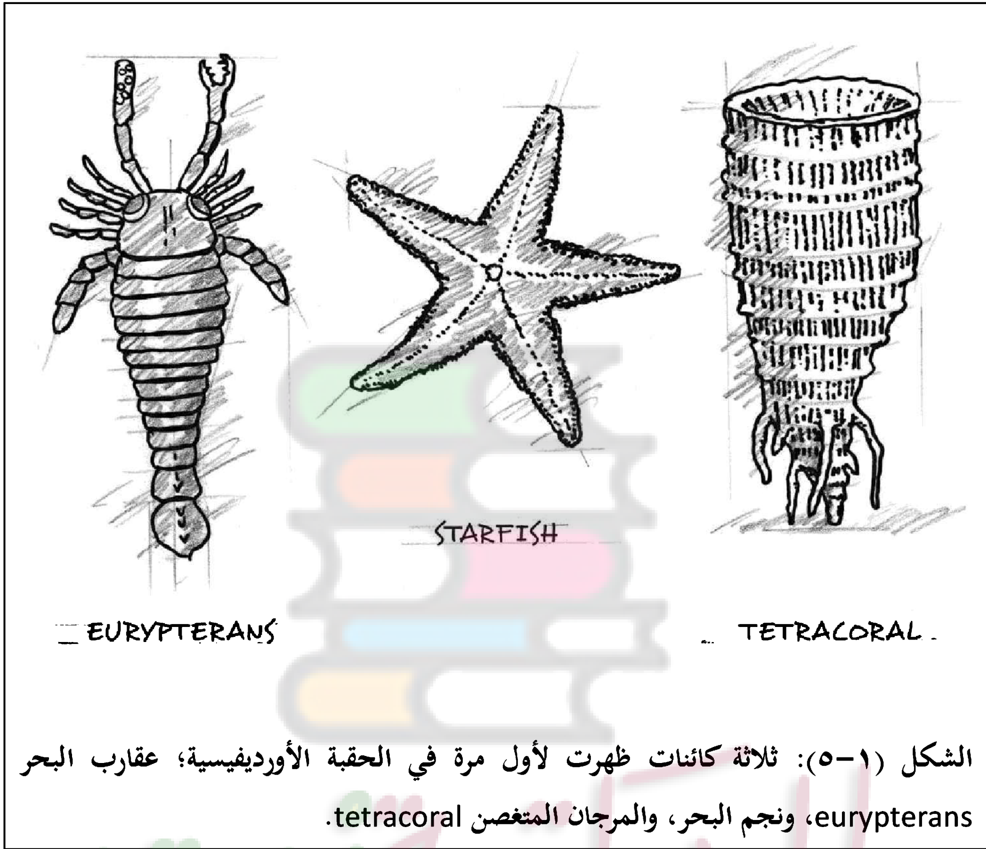
اِعتَقَد أغاسيس أنَّ دليل الظهور المفاجئ وغياب الأشكال السلفية في الحقبة ما قبل الكامبرية يُقَوِّض نظرية داروين[١١]، وتساءل أغاسيس "أين هي البقايا الأحفورية؟" لتلك الأشكال الأولية، وأصر على أن تصوّر داروين حول تاريخ الحياة "يُنَاقِضُ ما عُثِرَ عليه من أشكال حيوانية مدفونة في الطبقات الصخرية لكوكبنا هذا، والتي تُخبرُنا عن نشأتها و ذرياتها التي تركتها على سطح هذا الكوكب، ولذا تعالوا نستمع إليها، فشهادتها على أيَّة حال شهادة عيان على الفاعل أثناء وجوده الحقيقي على المسرح".[١٢]

مورتشيسون وسدجويك وأحافير ويلز الكامبرية

قام داروين بدوره برد أكثر كياسة، فلم يتجاهل أغاسيس، بل اعترف أنَّ اعتراضاته تَحمِلُ من القوة الشيء المعتبر، ولكنَّ أغاسيس ليس وحيدًا في طرح تلك الاعتراضات، فقد رأى أيضًا عدة رواد آخرين في البيولوجيا صعوبة العقبة التي تُمثِّلُها الأحافير بالنسبة لنظرية داروين، وربما كان المكان الأفضل للتحقق من الطبقات الأحفورية السفلى المعروفة في ذلك الوقت موجودًا في ويلز، وكان أحد أهم خبرائه هو رودريك إمبي مورشيسون Roderick Impey Murchison والذي سمَّى الحقبة الجيولوجية الأولى باسم الحقبة السيلورية Silurian انطلاقًا من اسم قبيلة ويلزية قديمة. قام هذا العالِم قبل ٥ سنوات من ظهور كتاب أصل الأنواع

بلفت الانتباه إلى الظهور المفاجئ للتصميمات المعقدة كالعيون المركبة في أوائل ثلاثيات الفصوص، وهي كائنات ازدهرت في فجر الحياة الحيوانية، ولذا فإنَّ هذا الاكتشاف استبعد فكرة تطور هذه الكائنات تدريجيًا من كائن بدائي بسيط الشكل: "إن أولى الأمارات على وجود الكائنات الحية تشير إلى وجودها كما هي الآن ككائنات معقدة، وتستبعد كليًّا فرضية التَّحوُّل من كائنات ذات مستوى أدنى إلى كائنات ذات مستوى أعلى".[١٣]

وأيضًا، اِعتَقَد آدم Adam Sedgwick المستكشف الرائد للسجل الأحفوري الغني الموجود في ويلز أنَّ داروين تجاوز الدليل، وأخبره بذلك في رسالته إليه في خريف ١٨٥٩ قائلا: "لقد نبذتَ –بعد انطلاقك في طريق معبد من الحقائق المادية المتينة– الطريقة الصحيحة للاستقراء".[١٤] ربما كان لـ(سدجويك) في عقله ذات الدليل، فقد درس الرجلان معًا منذ ٢٨ سنة تقريبًا عندما جلب الأستاذ في كامبردج داروين كمساعد له في استكشاف طبقة في أعالي وادي بحيرة البجع Swansea في شمال شرق ويلز، وهي الطبقة نفسها التي بَدَت أنَّها تَشهَدُ بقوةٍ على الظهور المفاجئ للحياة الحيوانية، وهي الطبقة التي سمَّاها سدجويك باسم إنكليزي ذي أصل لاتيني لريف ويلز (كامبيرا)، تسمية حلت في النهاية محل الاسم (السيلوري) الذي كان يطلق على أقدم الطبقات الحاوية على الأحفورات الحيوانية.



الشكل (١–٥): ثلاثة كائنات ظهرت لأول مرة في الحقبة الأورديفيسية؛ عقارب البحر eurypterans، ونجم البحر، والمرجان المتغضن tetracoral.

أكَّد سدجويك أنَّ هذه الأحفورات العائدة لتلك الحيوانات الكامبرية تبدو وكأنها قد خَرجت من العدم إلى الأعمدة الجيولوجية، وأكَّد أيضًا على ما عرضه كسبب رئيسي للشك في نموذج داروين التطوري: "إن الظهور المفاجئ للحيوانات الكامبرية مثال مذهل بلا شك على نمط الانقطاع الذي يَنتَشر خلال العمود الجيولوجي؛ فأين نجد في طبقات العصر الأوردوفيني –على سبيل المثال– العديد من عائلات ثلاثيات الفصوص وذراعيات الأرجل التي ظهرت في العصر الكامبري أسفل منها مباشرة؟"[١٥] ثم تختفي هذه المخلوقات والكثير من الأنماط الأخرى فجأة، ولكن وعلى حين غرة يجد المرء وافدين جدد في طبقة العصر الأوردوفيني

كعقارب البحر eurypterans ونجم البحر والمرجان المتغضن tetracorals (انظر الشكل ١-٥)[١٦]، ثم يظهر في الحقبة الباليوزية التالية (تُدعى بالعصر الديفوني) أول كائن برمائي (مثل Ichthyostega). في وقت لاحق، وفجأة، تنقرض العديد من الأشكال الأساسية من الحقبة الباليوزية (والتي تَشمل العصر الكامبري والعصر الأوردوفيني، وأربع عصور لاحقة) في فترة تدعى بالعصر البِرمي[١٧]، ومن ثم في العصر الترياسي التالي تَظهرُ كائنات مختلفة كليًّا كالسلاحف و الديناصورات[١٨]، مما جَعلَ سدجويك يُجادلُ بأنَّ هذا الانقطاع هو القاعدة وليس الاستثناء.

التأريخ بالانقطاعات

أبدت طبقات الأحافير مسبقًا -في عهد سدجويك- اختلافًا متمايزًا إلى حدٍ كبير بين الواحدة والأخرى، بحيث اعتاد الجيولوجيون على استخدام الانقطاع الحاد بينها كأداة أساسية لتأريخ الصخور، فقد كانت الأداة الأساسية الأفضل لتحديد العمر الزمني المرتبط بالطبقات المختلفة قد بُنيت على ملاحظة التراكب؛ إذ يَفترِضُ الجيولوجي مؤقتًا بكل بساطة، ما لم يكن هناك سبب للاعتقاد بخلاف ذلك، أنَّ الصخور السفلى ترسبت قبل الصخور التي تعلوها، وبخلاف النقد المنتشر المبالغ فيه لا يوجد أي جيولوجي -في وقتها أو الآن- يتبنى هذه الطريقة كمسلّمة لا شك فيها.

تُعلمنا أولى التدريبات الأساسية في الجيولوجيا أن تشكل الصخور قد يكون معكوسًا، أو مرفوعًا من طرف ما أو ربما مختلطًا غريبًا بفعل عديد من الظواهر، ولهذا يبحث الجيولوجيون دومًا عن وسائل أخرى لتقدير عُمر الطبقات المختلفة.

وصل الإنكليزي ويليام سميث William Smith إلى طريقة بديلة[١٩] في عام ١٨١٥ أثناء دراسة الطبقات الأحفورية التي انكشفت أثناء عمليات حفر قناة، فقد لاحظ سميث أن الاختلافات بين أنماط الأحافير في العصور الزمنية كبيرة ومميزة وغير متوقعة أبدًا؛ حيث تفصل بين تلك الحقب، وأن بإمكان الجيولوجيين استخدام هذه الطريقة لتحديد الأعمار النسبية للطبقات. حتى وإن كانت الطبقات الجيولوجية ملتوية أو مقلوبة، فإن الانقطاع الواضح بين الطبقات المختلفة عادة ما يَسمَحُ للجيولوجيين بالتَّمييز بين ترتيب تلك الطبقات المترسبة، وخاصة عندما تكون واسعة لتشكيل عينة كافية من المواقع الجيولوجية الغنية لدراستها –من تلك الفترة الواقعة تحت الاستكشاف–، بالإضافة لوجود إشارات مرجعية في المنطقة. أضحت تلك الطريقة –رغم إخفاقاتها– تقنية نموذجية للتأريخ، تستخدم مقترنة مع التراكب وباقي الطرق الإشعاعية الحديثة.

ERAS	PERIODS	ALTERNATE PERIODS	EPOCHS (NORTH AMERICA)	DURATION (IN MILLIONS OF YEARS)	
CENOZOIC ERA	NEOGENE PERIOD	QUARTERNARY PERIOD	HOLOCENE EPOCH	23 M.Y.	2.6 M.Y.
			PLEISTOCENE EPOCH		
		TERTIARY PERIOD	PLIOCENE EPOCH		63.4 M.Y.
			MIOCENE EPOCH		
	PALEOGENE PERIOD		OLIGOCENE EPOCH	43 M.Y.	
			EOCENE EPOCH		
			PALEOCENE EPOCH		
			66 M.Y. AGO		
MESOZOIC ERA	CRETACEOUS PERIOD			79 M.Y.	
			145 M.Y. AGO		
	JURASSIC PERIOD			56.3 M.Y.	
			201.3 M.Y. AGO		
	TRIASSIC PERIOD			52.9 M.Y.	
			254.2 M.Y. AGO		
PALEOZOIC ERA	PERMIAN PERIOD			44.7 M.Y.	
			298.9 M.Y. AGO		
	CARBONIFEROUS PERIOD			60 M.Y.	
			358.9 M.Y. AGO		
	DEVONIAN PERIOD			60.3 M.Y.	
			419.2 M.Y. AGO		
	SILURIAN PERIOD			24.6 M.Y.	
			443.8 M.Y. AGO		
	ORDOVICIAN PERIOD			41.6 M.Y.	
			485.4 M.Y. AGO		
	CAMBRIAN PERIOD 530 MILLION YEARS AGO			55.6 M.Y.	
			541 M.Y. AGO		
NEOPRO-TEROZOIC ERA (PRECAMBRIAN TIME)	EDIACARAN PERIOD			94 M.Y.	
			635 M.Y. AGO		
	OTHER PRECAMBRIAN PERIODS			APPROX. 4,000 M.Y.	

الشكل (١–٦): الخط الزمني الجيولوجي.

ويَصْعُبُ في الواقع توضيح ما تتمتع به هذه الطريقة من أهمية كبيرة ومركزية في التاريخ الجيولوجي الحديث، فكما يَشرحُ لنا الجيولوجي من جامعة هارفرد ستفن جي غلودStephen Jay Gould فإنَّ ظاهرة الانقطاعات في الأحفورات تُمْلِي علينا أسماء العصور الأساسية في العمود الجيولوجي (انظر الشكل ١-٦). كتب غولد: "كان بالإمكان أخذ التاريخ الحديث للحياة متعددة الخلايا منذ حوالي ٦٠٠ مليون سنة وتقسيمه إلى وحدات متساوية اعتباطيًّا لِيَسهل تذكّرها ك(١-١٢) أو من (A إلى L)، بحيث تكون ٥٠ مليون سنة لكل وحدة. لكن الأرض تزدري تبسيطَنا، وتجعل الأمور أكثر تشويقًا في سخريتها تلك، فتاريخ الحياة ليس متصلًا في التطوُّر، بل يتقطع السجل بين فترة جيولوجية وأخرى، قد تكون فترة موجزة أحيانًا، و فورية في أحيان أخرى؛ بحوادث انقراض جماعي يليه تنوع حيوي".[٢١] لقد كان أول الأسئلة التي انتقدت ادِّعاء داروين هي: "كيف يُمكنُ لداروين أن يوفِّقَ بين نظريته في التطوّر التدريجي وانقطاعات السجل الأحفوري الواضحة، التي سميت الحقب الجيولوجية المميزة وفقها، وخصوصًا عندما يبدو ظهور أولى الأشكال الحيوانية وازدهارها خلال العصر الكامبري وكأنه يَخرجُ من العدم؟

الحلّ الخفيّ!

بالطبع، كان داروين مدركًا تمامًا لتلك المشكلة، وقد ذكر هذا في كتابه أصل الأنواع: "إنَّ الطريقة المفاجئة لظهور مجموعات كاملة من الأنواع في تَشكيلات محددة قد دفع العديد من علماء الأحافير -كأغاسيس وبيكتت Pictet وسدجويك- للاعتراض بقوة على الإيمان بالتحول بين الأنواع، فإن كانت الأنواع الكثيرة التي تعود لنفس الأجناس أو العائلات قد بدأت حقًّا بالحياة دفعة واحدة،

فستكون تلك الحقيقة مدمِّرة لنظرية النشوء والارتقاء التدريجي عبر الاصطفاء الطبيعي."[٢٢] لكنَّ داروين اقترح حلًا ممكنًا؛ وهو أنَّ السجل الأحفوري قد يكون ناقصًا إلى حد كبير، فإمَّا أن الأشكال الانتقالية لحيوانات العصر الكامبري لم تتحجر أصلًا، أو لم نجدها بعد. حيث كَتبَ داروين: "أَنظرُ إلى السجل الجيولوجي الطبيعي، كنظرتي إلى سجل تاريخ العالم غير المحفوظ جيدًا، والمكتوب بلغات متغيرة، لا يوجد لدينا من ذلك التاريخ سوى الجزء الأخير الذي يَعودُ لبلدين أو ثلاثة، وفي هذا الجزء حُفظت فصول هنا وهناك، وفي كل صفحة يوجد عدة أسطر فقط.. من ذلك المنظور تتضاءل الصعوبات التي ذُكرت في الأعلى إلى حدٍ كبير، أو ربما تختفي."[٢٣]

لكنَّ داروين نفسه لم يكن راضيًا عن ذلك التفسير[٢٤]، تمامًا كأغاسيس الذي لم يكن مقتنعًا به على الإطلاق، حيث كتب: "بالنسبة لداروين وأتباعه فإن معظم الحجج التي يُقدمونها سلبية تمامًا، وهم بذلك يلقون بعبء الإثبات عن كاهلهم، فرغم تفتت السجل الأحفوري، إلا أن هناك تسلسل كامل في العديد من أجزائه، يمكننا أن نتحقق من صفة التتابع". على أية أسُسٍ بنى ادِّعائه هذا؟ "إن كانت البُنى الأكثر ضعفًا وهشاشة –كأطوار النمو الجنيني– ذات الطبيعة سهلة التلف قد حفظت في الترسبات الأولية، فليس لنا الحق في استنتاج اختفاء الأنماط؛ لأن غيابها يعارض بعض النظريات المحببة لنا، أي نظرية داروين".[٢٥]

رغم أنَّ داروين لم يكن متحمسًا للإجابة على اعتراضات أغاسيس، إلا أنه بدا راضيًا بإشباع حاجات اللحظة؛ فالأكثرية الغامرة من الأدلة التي حشدها داروين بدا أنَّها تَدعم نظريته، وعلى أية حال فقد اِصطَفَّ العديدُ من علماء الطبيعة الرواد

–مثل جوزيف هوكر وتوماس هكسلي وإرنست هِيكل وآسا غراي– إلى جانب طريقة التفكير التطورية، وكل منهم كان في العمر أصغر من أغاسيس. صحيح أن بعض العلماء (وبالأخص البروفيسور الاسكوتلندي المهندس فليمنغ جنكين، ومن انضم له فيما بعد وهو عالم الوراثة الإنكليزي ويليم باتِسون) عبروا عن شكوك قوية حول نجاعة الاصطفاء الطبيعي، لكن بغض النظر عن بعض الرؤى المهمة الناقدة علميًّا، فقد فازت نظرية داروين الثورية بدعم متزايد، وحددت فيما بعد شروط المناظرة حول تاريخ الحياة. أما بالنسبة لأولئك الذين رفضوها بالجملة –كما فعل أغاسيس– فقد نأوا بأنفسهم بعيدًا عن الأضواء يومًا بعد يوم.

أغاسيس تحت المجهر

إذًا، هل حدد أغاسيس معضلة أصيلة في نظرية داروين، ولغزًا لا يزال على الأقل يَنتظر الحلَّ؟ إن كان كذلك، فما الذي صارت إليه هذه المعضلة؟ وإن لم يكن كذلك، فكيف يمكن لمثل هذا العالِم المرموق والمشهور، والمتعمق بالأدلة، أن يُحَرِّفَ رأيه بعيدًا خارج رأي التيار العلمي السائد؟

حاول مؤرخو العلم في أيام ما بعد الداروينية الإجابة تقليديًّا عن هذا السؤال الأخير بوصف أغاسيس أنه كان عالمًا بارعًا ومحترمًا، لكنَّه كان متصلبًا جدًا، ولم يستطع مواكبة الموجة الجديدة، وهو أنموذج عَفَى عليه الزمن ومتورط في تعصب فلسفي.[٢٦] يَصِفُ كاتب السير الذاتية إدوارد Edward Lurie عالمَ الطبيعة من هارفرد بأنَّه: "عملاق القرن التاسع عشر... وهو شخصية متعمقة فيما يدور حولها، ورجل يعرف احتمالات الحياة بإدراك فريد من نوعه".[٢٧]

وبالمثل تقول المؤرخة مابل Mabel Robinson أنَّها انتظرت لمدة طويلة سيرة أغاسيس التي: "ستعيد إحياء ذكرى هذا الرجل العبقري، وسباقه المذهل المِقدَام في الحياة". وتقول أيضًا أنَّه كان: "رجلًا جديرًا بالتخليد؛ لأن العباقرة نادرون... لقد كان ساحرًا(١) يَتبَعُه الجميع".[٢٨] يردد أولئك العلماء بوضوح عن أغاسيس عكس ما يقوله معاصروه، حتى أن داروين بنفسه قال للشاعر الأمريكي هنري وادسوورث لونغفِلو: "يا لَتِلك المجموعة من الرجال في جامعة هارفرد!... إنَّ جامعتينا مجتمعتين لا تقدران أن تكونا بتلك الأهمية. لماذا؟ لأن أغاسيس عندهم وقيمته تعدل قيمة ثلاث جامعات".[٢٩]

بالرغم من ذلك، فقد جادلَ العديدُ من المؤرخين بأنَّ أغاسيس كان مصابًا بالمثالية الألمانية إلى درجةٍ كبيرة، منعته من تقييم الأسس الأحفورية في نظرية داروين جيدا. وفْق فلاسفة البيولوجيا المثاليين، تمثل الأشكال الحية الأفكار المتعالية، وفي تنظيماتها يتوفر الدليل على التصميم الهادف في الطبيعة. يعلق المؤرخ هنتر A. Hunter Dupree قائلًا: "كانت مثالية أغاسيس بالطبع أساس مبادئه حول الأنواع وتوزعها، وسِرّ إصراره بأنَّه لابد من سبب مقدَّس أو ذكي وراء أصل كل نوع".[٣٠] لقد كانت سفينة العلم تَتنَقِلُ من المثالية إلى التجريبية الحديثة، وكان أغاسيس تائهًا لكونه تَشَرَّبَ إلى حدٍ كبير المثالية المتحجرة من معلميه كعالم التشريح الفرنسي جورج كوفيه ومن الفلاسفة مثل فريدريك سكِلينغ الذين "حاولوا

---

(١) في الحقيقة استخدمت الكاتبة كلمة Pied Piper في إشارة إلى زمار هاملين تلك القصة الشهيرة التي تدور أحداثها حول عازف مزمار قروي ذو أنغام سحرية جذبت كل أطفال القرية خلفه. (المترجم)

جاهدين وضع كل شيء في الطبيعة في نظام موحد ومطلق من الأفكار"[٣١]، ويوضح لنا دوبري أن "أغاسيس لم يكن مخطئًا فحسب، بل وبإزعاج كان أيضًا معيقًا للتحضر، ومحاربًا بقوة لامتداد التجريبية إلى التاريخ الطبيعي".[٣٢]

يُصَرِّحُ إدوارد لوري بالمثل أو ربما بتمييز أشد أنَّه: "وبالرغم من قدرته العالية على القيام بالاكتشافات العلمية العظيمة، التي تعكس تكريسه نفسه للطريقة العلمية"، إلا أن أغاسيس "سيترجم تلك البيانات عبر وسط (ميتافيزيقي) يبدو أنه الأكثر سخافة".[٣٣] إنه ذات الرجل الذي يقدم وصف الـ"أكثر حذرًا ودقَّة ومضبوطية" للعالم الطبيعي، ثم يَنطَلِقُ في تعميماته المبنية على تلك المشاهدات: "متشبعًا بأفكاره المتطايرة عن الخيالات المثالية".[٣٤] اِعتَقَد لوري –باختزال– أنَّ فلسفة أغاسيس (الكونية) صاغت كليًّا رد فعله حول فكرة التطوُّر.[٣٥]

ومع تقدم العلم في أواخر القرن التاسع عشر، تزايد استبعاد الاعتراضات المنطلقة من فكرة وجود الفعل المقدَّس، كطريقة لتفسير الظواهر في العالم الطبيعي، وأضحى هذا الفعل مبدأً معروفًا باسم منهجية المذهب الطبيعي. ووفق هذا المبدأ، على العلماء أن يَقبَلوا بافتراض مسبق أنَّ كل الخصائص في العالم الطبيعي قابلة للتفسير بالأسباب المادية، ودون الاستعانة بذكاء أو عقل أو إدراك هادف.

يُجادِلُ أنصار المنهجية الطبيعية بأنَّ السبب القوي لنجاح العلم هو تجنُّبُه إقحامَ الذكاء المبدع في التفسير، وينقب بصرامة بدلًا من ذلك عن الأسباب المادية للمظاهر السابقة العجيبة التي نراها في العالم الطبيعي. وفي أربعينيات القرن التاسع عشر جادل الفيلسوف الفرنسي أوغست كونت بأن العلم يتقدم عبر ثلاثة أطوار متميزة؛ إذ يعمل في مرحلته اللاهوتية على إقحامِ الفِعْلِ المُعْجِزِ للآلهة

ليشرح الظواهر الطبيعية، مثل الصواعق وانتشار الأمراض. ثم يصل في الطور الثاني إلى مرحلة ميتافيزيقية أكثر تقدمًا، فتتحول التفسيرات العلمية لإشارة إلى مبادئ مجردة، مثل نماذج أفلاطون أو الأسباب النهائية الأرسطية. ويَذكُر (كونت) أنَّ العلم لا يَصِل إلى مرحلة النضوج إلا عندما يَطرَح تلك الأفكار التجريدية جانبًا، ويُفَسِّر الظواهر الطبيعية من خلال الرجوع إلى قوانين الطبيعة أو الأسباب أو العمليات المادية الصارمة، ويحاجج كونت بأنَّ المرحلة الثالثة والنهائية فقط هي التي تُمكِّن العلم من تحقيق المعرفة "الوضعية".

ازداد اعتناق العلماء خلال القرن التاسع عشر لوجهة النظر المسماة بـ(الفلسفة الوضعية)[٣٦]، إلا أنّ أغاسيس وقف بثبات في وجه تلك التصورات الحديثة، وأصرَّ على أن الأحفورات الكامبرية تشير إلى "فعل ذكي"[٣٧]، وتدخل لقوة عاقلة. وقد أظهر بـ(إسناده الفعلَ إلى عقلٍ متعالٍ) للكثيرين أنَّه كان غير قادرٍ على هجر المقاربة المثالية المتحجرة، لذا تَرَكَ قطارُ التطوُّر العلمي أغاسيس خلفه.

استعادة أحفورة قديمة

رغم وضوح رفض أغاسيس لمبدأ المنهج الطبيعي، كما يسمَّى الآن، إلا أن هناك مشاكل في تصويره على أنَّه أحفورة من عصر آخر، فبداية أغاسيس كعالمٍ لا يشق له غبار في الالتزام بالمبدأ التجريبي، ثم هو نفسه بطل القصة التي تحكي لنا أن أستاذًا كلّف أحد تلاميذه بمراقبة سمكة لمدة ثلاثة أيام، وهي قصة أيقونية بما فيه الكفاية ليعاد طباعتها في الكتب المؤلفة للطلبة الجامعيين الجدد؛ ففي هذه القصة، يركز التلميذ صامويل سكادِر انتباهه في محاولة لفهم أي شيء جديد حول ذلك الكائن الطيني، متعجبًا من عذاب الأستاذ أغاسيس له بتلك "السمكة القبيحة".

لكن في النهاية يحقق (سكادر) مستوًى جديدًا في عمق الملاحظة والإدراك، إذ يدون (مابل روبنسون) أنه إن كان هذا الأسلوب في التعليم يبدو أقل ثورية بالنسبة للقراء المعاصرين، إلا أن هذا خلاف ما كان عليه بالنسبة لسكادر؛ وذلك لأن أغاسيس درَّب جيشًا من علماء الطبيعة اليافعين المؤهلين الذين نقلوا طريقته إلى جامعات أخرى، ومن ثم مرروها إلى طلابهم أساتذة المستقبل.[٣٨]

بدوره أطرى ويليام جيمس –مؤسس البراجماتية الأمريكية– على التزام أغاسيس بالصرامة التجريبية في رسالة كتبها لوالده، فبينما كان في إرسالية مع أغاسيس في أمريكا الجنوبية عام ١٨٦٥، علق الشاب في رسالته بأنه "شعر بشعور ثقيل وقوي حول وجود هذه الخلفية العظيمة من الحقائق المتميزة في ذهن هذا الرجل، أكثر من أي رجل آخر عرفه".[٣٩] إنه مستودع من البيانات الدقيقة جُمعت عبر "سرعة الملاحظة، وسعة إدراكها مجددًا، وتذكر كل شيء حولها".[٤٠] مما يُثير الإعجاب، أنه عندما سيدخل جيمس في النهاية مجال علم النفس، سيأخذ معه المنهج التجريبي في حل المشكلات، والذي صاغه أغاسيس.[٤١]

يعترف لوري بأنَّ قامة أغاسيس عالية بين العلماء الأمريكان، وقد نما ذكر معرفتِه الفذةِ بالجيولوجيا وعلومِ الأحافير وعلوم الأسماك والتشريح المقارن والتصنيف، وكان أغاسيس شغوفًا جدًا بالعالم الطبيعي خصوصًا، فبدأ بترتيب نظام من المعلومات ومشاركته مع علماء الطبيعة والبحّارة والمبشرين حول العالم، فجمع أكثر من ٤٣٥ برميلًا من العينات، من بينها مجموعات نادرة جدًا من الأحفورات النباتية.[٤٢] وكدَّس أغاسيس في سنة واحدة أكثر من ٩١ ألف عينة، وعرّف حوالي ١١ ألف نوعًا جديدًا[٤٣]، جاعلًا من متحف التاريخ الطبيعي في جامعة هارفرد المتحف الأبرز بين متاحف العالم.

كما يبدو أنَّه ذهب إلى مدى أعظم، حرفيًّا ومجازيًّا، عندما قيَّم كتابَ (أصل الأنواع) تجريبيًّا، بذهابه في رحلة بحرية مقتفيًا أثر رحلة داروين إلى جزر الغالاباغوس. وقد شرح سبب الرحلة لعالم الحيوان الألماني كارل غيغنباور بأنَّه "أراد دراسة نظرية داروين متحررًا من أي تأثيرات خارجية وأحكام مسبقة متحيزة".[٤٤]

إنَّ الفكرة السائدة حول تأثير تعصب أغاسيس للدين أو الفلسفة على الأحكام العلمية تثير أسئلة أخرى، إذ يشرح لنا المؤرخ نيل غيلسبي بأن أغاسيس كان "الأول في محاربة التعصب الديني في العلم"[٤٥]، بل وأظهر أغاسيس نفسه – فوق ذلك– أنَّه على استعداد كامل لتقبل الآليات الطبيعية قبل إقحام القوى ما فوق طبيعية وتفضيلها على باقي التفسيرات. وبما أنه اِعتَبَر القوى المادية والقوانين الطبيعية التي تصفها نتاجًا لخُطَّة مصممة، فقد رأى أن أي عمل مبدع تقوم به تلك القوى ما هو إلا عمل مباشر من الخالق، إذ يفترض على سبيل المثال أن الأمر كذلك في نمو الأجنة؛ فقد عزا نماءها الطبيعي من البويضة الملقحة إلى البلوغ لظاهرة طبيعية، ولم يَعتَبر أنَّ هذا يُشَكِل أي تهديدٍ لإيمانه بالخالق.[٤٦]

كما أنَّه تَقبَّل مباشرة فكرة النظام الشمسي المتطور طبيعيًّا[٤٧]، واعتقد بأن مهندسًا كونيًّا ماهرًا يُمكنه العمل عبر أسباب طبيعية ثانوية في كل جزئية بكفاءة تعادل التدخل المباشر، وكانت هوامش نسخته من كتاب أصل الأنواع تقترح بأن لديه ذات الاهتمام بالتطور البيولوجي، إذ نجده يكتب: "ما الاختلاف الكبير بين افتراض صنع الله للأنواع المختلفة أو أنه قام بصياغة القانون الذي تنوعت بموجبه الأنواع".

هناك مشكلة ثالثة تواجه الصورة المتحجرة المرسومة لمنافس داروين الأشهر، وتتعلق بالاعتراضات الأساسية التي طرحها (لوري) بأن أغاسيس كان بارعًا في الحالات الخاصة دون التعميمات المعتمِدة على تلك الحالات، لكن السجلات التاريخية تُبيّنُ خلاف ذلك؛ إذ كان أغاسيس –على سبيل المثال– الرجل الذي طبّق بمهارة تعميمًا على كميات كبيرة من الملاحظات الجزئية، أثناء عمله على العصر الجليدي، مرسيًا الأسس الجيولوجية الموضِّحة لكيفية وضع تفسير مثالي لهذا الكم الكبير من الحقائق على أنَّه فعل الأنهار الجليدية المنحسرة.

هنا تكون المقارنة المباشرة بين داروين و أغاسيس أمرًا ممكنًا، فكل منهما بحث عن تفسير ظواهر الجيولوجيا التي تثير الفضول في المرتفعات الاسكوتلندية والطرق المتوازية لوادي غلن روي Glen Roy، نسبة إلى نهر روي Roy الذي يَمُرُّ فيه، وبالرغم من أنَّه مكان يأخذ الألباب بجماله، إلا أن أكثر ما يجده الزائرون ساحرًا فيه هو طرقه الثلاث المتوازية المشقوقة عبر السنين على طول جدار الوادي في كلا جانبيه[٤٨](الشكل ١–٧)، وتقول الأساطير الاسكوتلندية أنَّها مسارات للصيد بُنيت من قبل الملوك الاسكوتلنديين الأوائل، أو ربما من قبل المحارب الأسطوري Fingal، وجَادَلَ العلماءُ فيما بعد بأنَّ هذه السبل طبيعية وليست مبنية، وبذلك اقتنع كل من داروين وأغاسيس، لكنهما اختلفا في التفسير. فما كانت نهاية المسألة؟ يشرح داروين في سيرته الذاتية قائلًا: "لقد أصابتني دهشة عميقة لِمَا رأيته من تطور الأرض في أمريكا الجنوبية، وعزيت السبل المتوازية إلى فعل البحر، لكن كان علي التخلي عن هذا التفسير لصالح نظرية البحيرة ذات الأصل المتجمد glacier-lake التي قال بها أغاسيس".[٤٩] ثم تلا ذلك تحقيقات أجريت في أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين أكَّدت صحة تفسير أغاسيس.[٥٠]

لم يكن أغاسيس موسوعة متحركة أو جامعًا نهمًا للأحفورات لم يستطع دمج تفاصيل القصة في نظرة واحدة، وعلى من يصفه بذلك الإشارة إلى مثال آخر يدعم موقفه (غير رفضه لنظرية التطور)، فلا يمكن استخدام هذا المثال لإثبات عجزه الكامل عن شرح الدليل، ومن ثم الالتفاف خلفًا لاستخدام ذلك العجز (المفترض) في شرح فشله في قبول نظرية داروين؛ إنَّ هذا لهو الاستدلال الدائري بعينه.

هناك العديد من الحلول الواضحة لتلك الأحجية التاريخية حول اعتراض أغاسيس على نظرية داروين، إذ تظهر واقعيًّا أحافير الطبقات العائدة للعصر الكامبري فجأة في السجل الجيولوجي، وهذا تحدّ واضح لما تقودنا نظرية داروين إلى توقعه؛ باختصار أمامنا لغز حقيقي.



الشكل (١–٧): الطرق المتوازية لوادي غلن روي Glen Roy .

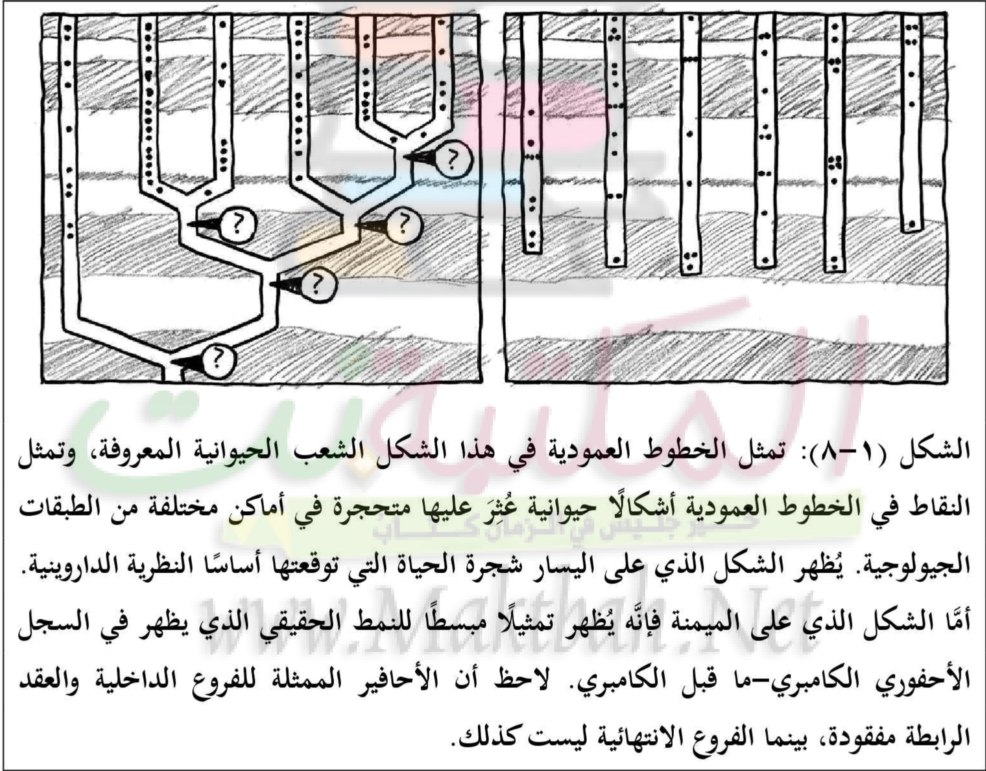
يدعم الاعتباران الأخيران وجهة النظر هذه. الأول، كما ذكرنا من قبل، أنَّ داروين نفسه أقرَّ بصلاحية اعتراض أغاسيس[٥١]؛ فقد أقرَّ بذلك في مكان آخر من كتاب (أصل الأنواع) قائلًا: "أمَّا عن سؤال سبب عدم إيجادنا لمكنون غني من الأحفورات تَعود إلى الحقب الأوَّلية المفترض وجودها قبل نظام الصخور الكامبري، فليس بإمكاني تقديم جواب مُرضٍ... لابد لتلك القضية أن تبقى في الوقت الحالي غير قابلة للتفسير، وقد تبدو حقًّا حجة صائبة ضد المفاهيم التي قدمناها هنا".[٥٢]

ثانيًا، فشلت محاولات داروين شرح غياب أحافير الأسلاف المتوقعة للأشكال الكامبرية في مواجهة اعتراضات أغاسيس القوية والذكية، فالمعضلة في نظرية داروين -كما شرحها أغاسيس- لم تكن في النقص العام الذي يَعتَري السجل الأحفوري، أو انتشار حالات الغياب بين جنبات الأشكال السلفية للحياة في السجل الأحفوري، بل كانت المعضلة وفقًا لأغاسيس في الانقطاع الانتقائي في السجل الأحفوري.

يَسألُ أغاسيس: لماذا يتقطع السجل الأحفوري دومًا عند العقد الرابطة للفروع الكبيرة في شجرة حياة داروين، لكنه نادرًا ما ينقطع -في أسلوب علم الأحافير الحديث- في (الأفرع الانتهائية) الممثلة لمجموعات الكائنات المعروفة مسبقًا؟ عادة ما تكون هذه الفروع الانتهائية ممثلة في السجل الأحفوري جيدًا (الشكل ١-٨)، وتَمتدُّ لأجيال كثيرة عبر ملايين السنين، في حين أن (الفروع الداخلية) عند العُقَد الرابطة في شجرة داروين للحياة تكون دومًا مفقودة انتقائيًّا. شرح أغاسيس ذلك بأنَّ نظرية داروين "تستند جزئيًّا إلى افتراض النجاح عبر العصور، وأنَّ تلك الأشكال الانتقالية فُقدت من السجل الجيولوجي الأحفوري

الذي كان سيثبت النتائج الداروينية لو أن تلك الأنواع حُفظت".[٥٣] وبالنسبة لأغاسيس فقد بَدَت القصة وكأنها خرافة؛ حيث أنها تَشرَحُ غياب الدليل بدلًا من شرح الدليل الذي بين أيدينا.

هل كان هناك أي جواب -ولو كان بسيطا- لحجة أغاسيس؟ إن كان الأمر كذلك، وبغض النظر عن رغبته المعلنة للانتظار من أجل العثور على أحافير في المستقبل، لم يَملُك داروين ذلك الجواب.



الشكل (١-٨): تمثل الخطوط العمودية في هذا الشكل الشعب الحيوانية المعروفة، وتمثل النقاط في الخطوط العمودية أشكالًا حيوانية عُثِرَ عليها متحجرة في أماكن مختلفة من الطبقات الجيولوجية. يُظهر الشكل الذي على اليسار شجرة الحياة التي توقعتها أساسًا النظرية الداروينية. أمَّا الشكل الذي على الميمنة فإنَّه يُظهر تمثيلًا مبسطًا للنمط الحقيقي الذي يظهر في السجل الأحفوري الكامبري-ما قبل الكامبري. لاحظ أن الأحافير الممثلة للفروع الداخلية والعقد الرابطة مفقودة، بينما الفروع الانتهائية ليست كذلك.

وتستمر الأحجية

في السنوات التي تلت نشر (أصل الأنواع)، أُهْمِلَتْ تمامًا العديد من إشكاليات أغاسيس، وذلك مع تزايد افتتان العامة والعلماء بأفكار داروين. رغم ذلك، لاتزال الأحجية مستمرة وملقاة على كاهل البيولوجيين، وستراجعها أجيال لاحقة من العلماء وتسعى مجددًا لحلها. فكما ذكر داروين في عصره أن أحافير العصر الكامبري قليلة ومدة الانفجار غامضة تمامًا، إلا أنه ربما سيأتي علماء المستقبل لينقذوه باكتشافات حديثة.

اِمتدَّت قصة المحاولات المتعاقبة لحل الأحجية الكامبرية منذ زمن داروين وحتى اليوم، من أطراف وادي بحيرة البجع Swansea، إلى جنوب ويلز، وصولًا إلى المواقع الأحفورية النائية في جنوب الصين. وسننتقل في الفصل التالي لنتتبع الاكتشافات التي جَرَت منذ أواخر القرن التاسع عشر إلى أوائل القرن العشرين، عبر الجزر الإنكليزية، مرورًا بكولومبيا الإنكليزية، ووصولًا إلى المواقع الأحفورية عند نهر الحصان الجامح Kicking Horse. إنه عمل مذهل لدرجة أنَّ علماء الأحافير وبعض أكثر المتشككين والمتشددين للعقلانية العلمية لا زالوا –إلى يومنا هذا– يذكرون اسم الانفجار الكامبري بإجلال واحترام كبيرين.

الفصل الثاني

قصص ترويها صخور بورجس

قصص ترويها صخور بورجس

إنَّ هذا التناغم الدقيق بين مسرح الأحداث والأداء المسرحي لا نتوقعه إلا في الخيال؛ ففي الروايات القوطية مثلًا تتردد أشباح الماضي بكثرة مع العواصف الرعدية والقصور المهدمة، بينما تَجِدُ في الرواية الوجودية مشهدًا مُحيَّرًا للمدينة، وتَجِدُ في الرِّواية العاطفية الشرفات العالية المزينة بالياسمين، أمَّا في الحياة العادية فمسرح الأحداث أقل أهمية، إذ تنحلّ المآسي العائلية المعقدة في بيوت الضواحي الريفية الهادئة والكبيرة، بينما تُزهر قصص الحب الأخَّاذة خلف جدران المهاجع. لكن الاكتشاف الأحفوري الأكثر ثورية في القرن العشرين كان أقرب للخيال؛ إذ تَناسب فيه المشهدُ مع الحال.

تُظهر الصورُ المأخوذة أثناء الاستكشاف الصيفي رجلًا هزيلًا أصلعا، مع تجعدات لطيفة في زاويتي عينيه، وخطٍ عميق محفور بين حاجبيه يَنُمُّ عن تفكير عميق، يَقِفُ على مرتفع صخري خطر ممسكًا بمعول ومجرفة بيده وينظر إلى مكان بعيد عن تلك القمة، مطمئنًا بين المنحدرات الوعرة والجبال الخطرة، متلمسًا طريقه فوق أحد السفوح، ومن ثم في مكان آخر يقبع فوق خط انعدام الشجر من الجبل الذي يليه. يصل (تشارلز دوليتل والكوت) إلى مكان يستطيع عنده الرؤية لبعد أميال، وهناك إلى الشمال الغربي يُرى رأس حربة جبل وابتا Wapta المدبب بارزًا نحو السماء، وأسفل منه ترقد بحيرة إميرالد Emerald بمائها المخضر بسبب وجود خليط من الصخور تعرف بـ(glacial till) [١] الغنية بالمعادن، وإلى الغرب

---

(١) Glacial Till: مزيج من الصخور والتربة حملتها الكتل الجليدية المتحركة بطريقها ثم ترسبت بعد ذلك.

قِمَمٌ ثلجية ممتدة حتى الأفق.(انظر الشكلين ٢-١ و ٢-٢) إنَّها الجهة الشمالية الشرقية فقط التي تَفتَقِرُ لمشهدٍ جميل، وهنا كان الغضار الصفيحي shale المألوف يَكسُو قِمَةَ الجبل الجرداء، وبالطبع كما في أي قصة خياليّة، هناك تكمن الجائزة الحقيقية، فأهمية الأرض المخفية لا تقاس بالأميال وإنَّما بالأعمار.



الشكل (٢-١): مشهد الغضار الصفيحي في Burgess والمنطقة المحيطة به. بإذن من Corbis.



الشكل (٢-٢): تشارلز دوليتل في الحقل، عام ١٩١١ تقريبًا. بإذن من أرشيف معهد سميثسونيان.

كان والكوت –مدير معهد سميثسونيان حينها– على وشك الدخول في الطور الأهم من حياته الأكاديمية، بل كان على موعد مع الاكتشاف الأكثر إثارة في تاريخ علم الأحافير؛ إذ عَثَرَ على كنز دفين لا يَنضَبُ من أحافير العصر الكامبري المتوسط، يَشمَلُ أشكالًا حيوانية لم تكن معروفة سابقًا محفوظة بتفاصيلها الدقيقة، ما يَطرَحُ وجود حدث أكثر فجائيَّة ممَّا كان متوقعًا في زمن داروين، ويُعطي تفاصيلَ لتنوع بيولوجي ذي أشكال هندسية جديدة أكبر مما كان مُتخيلًا حينها. من أين أتت كل هذه الأشكال البيولوجية الكثيرة؟ ولماذا تبدو –مرة أخرى– وكأنَّها ظهرت فجأة في الحقبة الكامبرية؟ كان والكوت أول من اكتشف الأحافير في الغضار الصفيحي في بورجس Burgess Shale، وكان أول من اقترح إجابة للسؤال الذي طُرح على الطاولة.

قصص الحيوانات(٢)

مفتاح اللغز الحاسم الذي أدَّى إلى اكتشاف أحافير منطقة بورجس يبدو كجزء من أسطورة تُروى في أوساط علماء الأحافير، وقد اعتبرها عالم الأحافير ستفن جي غولد Stephen Jay Gould أفضل ما يكتب عن تشارلز والكوت، حيث كتب مساعده الأسبق تشارلز سكوتشرت Charles Schuchert: "أتت إحدى أكثر اكتشافات والكوت لَفتًا للنظر في مجال حيوانات الأقاليم المختلفة مع نهاية موسم الاستكشاف من عام ١٩٠٩، عندما اِنزَلَق فرس السيدة والكوت نحو أسفل الطريق فقلب معه حجرًا شَدَّ انتباه زوجها على الفور. يوجد كنز عظيم، قشريات Crustacea غريبة كاملة من العصر الكامبري الأوسط! لكن أين هي

(٢) Bestiary: مجموعة من قصص العصور الوسطى تعطي وصفًا ماديًّا ومجازيًّا لحيوانات واقعية أو تخيلية، مع توضيح الأهمية الأخلاقية التي كان يُظن أن حيوانًا ما يَمتَلِكُها.

الصخرة الأم التي انفصل عنها هذا الحجر من هذا الجبل؟ كان الثلج يَنهمرُ أيضًا، ولذا كان عليه أن يَترُكَ حل هذا اللغز إلى الموسم الكشفيّ التالي، حيث عاد إلى جبل وابتا، وتَتَبع الصخرة الأم للحجر الذي معه، حتى وصل في النهاية إلى طبقة من الغضار الصفيحي –سُمِّيت بعد ذلك بغضار بورجس الصفيحي–، على ارتفاع ٣٠٠٠ قدم فوق معسكر الاستكشاف.[١]

يَستَحضرُ غولد الأسطورة، محتفلًا بانجذابه الأوَّلي للقصة، رغم ما يبديه من سخرية: "اعتُبِرَ أنَّ الشخصية الأساسية في هذه القصة هي الشدفة الصخرية المحظوظة، التي أحدثتها كبوة الفرس... وقد كانت الاكتشافَ الأعظمَ في اللحظات الأخيرة من موسم الاستكشاف، مع تساقط الثلج وحلول الظلام، كنهاية للمسرحية، أضف إلى ذلك الانتظار القلق خلال شتاء السخط والتَّذمُّر، والعودة المُبتهجة بالنصر، والتعقب المنهجي الحذر للحجر التائه من أجل الوصول إلى منبعه".[٢]

يَستنتِجُ غولد أنَّها قصةٌ مقنعةٌ، ولكنَّها مَحضُ خيالٍ؛ حيث تُظهر يوميات والكوت أنّه كان لدى فريقه الكثير من الوقت ليبدأ عمليات التنقيب في الموقع ذلك الصيف، وسط طقس مناسب للعمل، وليال دافئة أيضًا. وعند عودتهم الصيف التالي بحثًا عن المخزن الأم كان عمل يوم واحد كافيًا بدلًا من عمل أسبوع كامل، إنها النتيجة الواضحة التي حصل عليها غولد من يوميات والكوت، ومعلوماته عن خبرات والكوت كعالم جيولوجيا.[٣]

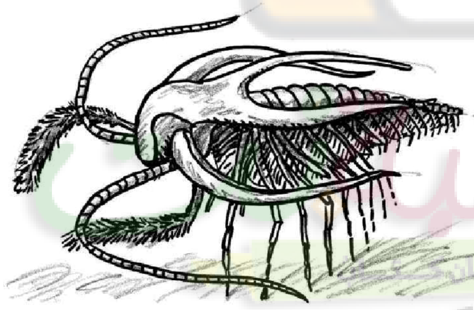
سنعيد تفصيل دوافع قصة انزلاق الحصان –التي كانت ضربًا من الحظ–، والتأخير المخيب للآمال، وحتى الإعلان في النهاية عن النصر وليد الصدفة؛ يردُ ذكر ذلك في الفصل السابع مصحوبًا بكلمات مطولة لغولد، لكننا سنكتفي الآن

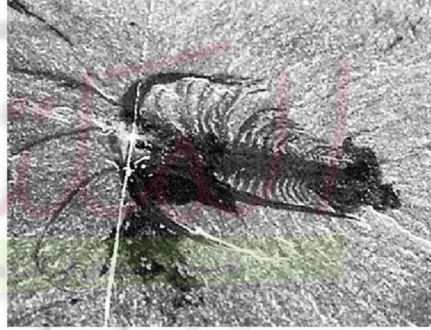
بالتنبيه إلى ضعف المجتمع العلمي في الإخراج المسرحي المرافق لاكتشاف منطقة بورجس، ونقص الأفكار الخياليَّة المتنوعة المرحبة به، وكأن المشهد الفاتن المحيط بالحادثة لم يَكُن كافيًا لذلك الإخراج. وضعفُ الترحيبِ بتلك المسرحية مفهوم؛ باعتبار ما وجده (والكوت) والباحثون اللاحقون له في تلك المنطقة، وفي السنوات العديدة التالية جمع فريق والكوت وحده أكثر من ٦٥ ألف عينة، العديد منها محفوظ بدِقَّة بالغة، لكن بعضها الآخر كان شاذًا للغاية، لدرجة أن بعض الباحثين سيبحثون لأكثر من نصف قرن عن الأصناف الملائمة التي تضمها.

خُذ على سبيل المثال فقط الزوج Marrella وHallucigenia الَّذين وُجدا في محجر والكوت، حيث تُعرف Marrella أيضًا بالسلطعون ذي الشرائط lace crab، وهي نوع غير اعتيادي؛ وصفها والكوت بأنَّها أحد أنماط ثلاثيات الفصوص trilobite، لكنَّ الدِّراسات اللاحقة التي قام بها أخصائي الأحافير من جامعة كامبريدج هاري ويتينغتون Harry Whittington صنفتها كشَكلٍ مستقل من أنماط مفصليات الأرجل، وليس كثلاثي فصوص ولا من التآشير أو كلابيات القرون chelicerate –مجموعة فرعية من مفصليات الأرجل تَضُمُّ العناكب–، ولا حتى من القشريات crustacean.[٤] يَنقَسم هذا المخلوق إلى ست وعشرين قطعة، تحوي كلٌ منها رِجلًا مفصلية للمشي، وفرعًا خيشوميًّا مكسوًّا بالرِّيش للسباحة، ولها درع عند الرأس يَخرُجُ منه زوجان طويلان من الزوائد المتَّجهة نحو الخلف، وعلى الجزء السفلي من الرأس زوجان مميزان من قرون الاستشعار، أحدهما قصير وقوي والآخر طويل وممتد (الشكل ٢–٣).

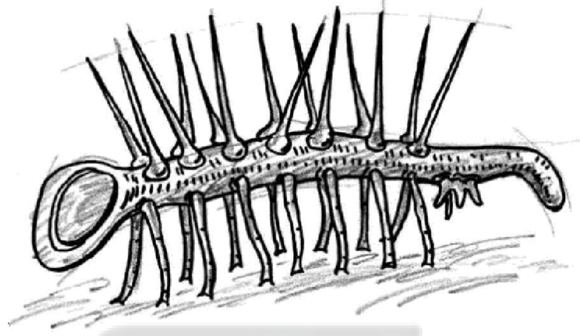
تنتمي (الهلوسيات) Hallucigenia لجنس وفصيلةٍ تُشَكِّلُ هي الفرد الوحيد فيهما! فقط. لهذه الكائنات كتلة مدورة في إحدى النهايتين –ربما هي الرأس–

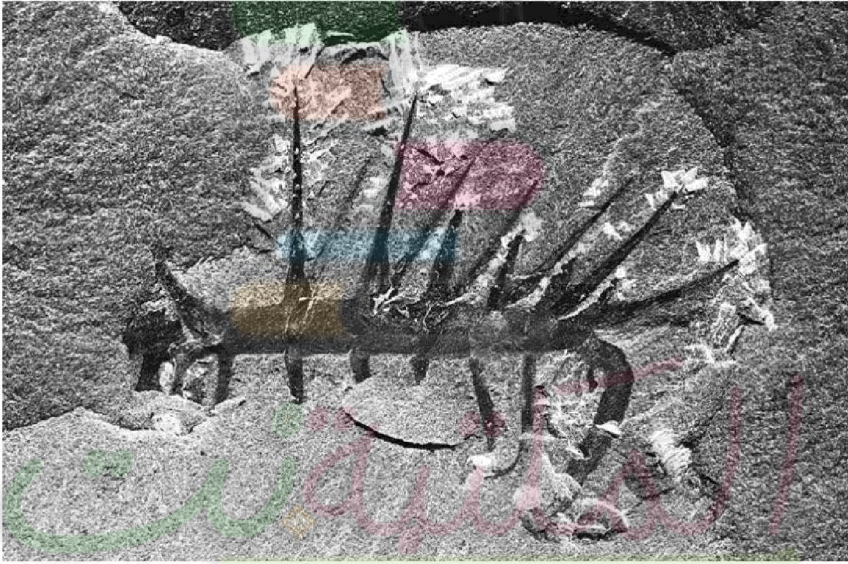
متصلة بجذع اسطواني الشكل، يتحكم بسبع أزواج من الأشواك البارزة للأعلى مائلة نحو كلا الجانبين، ويصل طول كل شوكة تقريبًا إلى طول الجذع نفسه (الشكل ٢-٤)، وعلى القسم السفلي من هذا المخلوق توجد سبعة أزواج من الأطراف، تتناظر كل منها في الموضع مع مواضع أشْفاع الأشواك على ظهره، أمَّا المجس فيوجد في أقصى الالتواء الخلفي. ويوجد أسفل البطن أيضًا ثلاثة أزواج من المجسات القصيرة قبل أن يستدق الجذع وينعطف نحو الأعلى بما قد يكون استطالة جسمية مرنة. يبدو أن كلًا من المجسات الكبيرة تملك قناة جوفاء موصولة بالمعي ومنتهية بكلّاب، وقد كانت هذه المخلوقات القديمة غريبة للغاية لدرجة أنَّ علماء الأحافير لم يُصَدقُوا ما تراه أعينهم، وهذا ما أعطاها اسمها المميز ذاك (المشتق من الهلوسة).





الشكل (٢-٣): نشرت الصور بإذن من مستخدم Wikimedia Commons : Smith609.
الشكل (٢-٣)a: (اليسار) رسمة فنان لأحفورة Marrella splendens. الشكل (٢-٣)b: (اليمين) صورة لأحفورة Marrella splendens.





الشكل (٢-٤): نشرت الصور بإذن من معهد سميثسونيان. الشكل (٢-٤)a: (فوق) رسمة فنان لأحفورة Hallucigenia sparsa. الشكل (٢-٤)b: (أسفل) صورة لأحفورة Hallucigenia sparsa.

ثُمَّ أصبح مصطلح (الانفجار الكامبري) أمرًا شائعًا، لأنَّ المَوقِعَ الذي اِكتَشَفه والكوت يُشير إلى الظهور الجيولوجي المفاجئ لمعرض الحيوانات هذا، فهو متنوعٌ كأي موقعٍ تخيّله الخيال العلمي يومًا؛ حيث أظهر هذا الانفجار الحيواني في هذه

المنطقة حيوانات تُمثِّل قرابة عشرين من الشعب الحيوانية التي تبلغ ستًا وعشرين شعبة فقط في السجل الأحفوري المعروف! بما يجعل منه الظهور الأول لهذه الشعب على الأرض (الشكل ٢-٥).[٥]

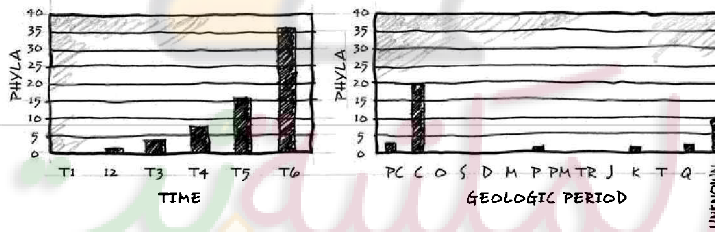
يُشيرُ مصطلح الشُّعَب (phyla) ومفردها الشعبة (phylum) إلى التقسيمات في نظام التصنيف البيولوجي، وتُعتَبرُ الشُّعب المستوى التصنيفي الأعلى -أو الأوسع- ضمن التصنيف البيولوجي للمملكة الحيوانية، حيث تُبدي الحيوانات التي تنتمي لكل واحدة منها نمطًا بنيويًا أو مخططًا تنظيميًّا أو خطة جسدية بنيوية تميز الواحدة عن الأخرى. ومن الأمثلة المألوفة للشُّعب نَجدُ شُعبة القراصات cnidarians (المرجان والأسماك الهلامية)، وشعبة الرخويات mollusks (الحبّار وسمك البطلينوس clams)، وشعبة شوكيات الجلد echinoderms (نجم البحر وقنفذ البحر)، وشعبة مفصليات الأرجل arthropods (ثلاثيات فصوص وحشرات)، وشعبة الحبليات التي تنتمي لها كل الفقاريات، ومن ضمنها البشر.

تُظهر الحيوانات في كل شعبة صفات تساعد على تمييزها، ما يُتيح لعلماء التصنيف تقسيمها إلى مجموعات أصغر وأصغر؛ بدءًا بالأصناف classes، ثم الرتب orders، وصولًا إلى الفصائل families، فالأجناس genera، فالأنواع المفردة species.

تُمثّل التصانيف الأوسع والأعلى ضمن المملكة الحيوانية -كالشعب والأصناف- المجموعات الكبرى في الحياة الحيوانية، وتشمل تحديدًا حيوانات ذات مخطط جسدي واحد نمطي. وتمثّل المجموعات التصنيفية الأدنى -كالجنس والنوع- درجات أقل من التباين بين الكائنات الحية التي تُبدي بشكلٍ نمطي خططًا عامة متشابهة في تنظيم أجزاء وبُنى الجسم.

سأستخدم في الكتاب هذه التصنيفات الاصطلاحية على طريقة علماء أحافير العصر الكامبري، رغم أنني أدرك تفضيل بعض علماء الأحافير وعلماء التصنيف اليوم للتصنيف التطوري السلالي (الفيلوجيني؛ وهي طريقة تستخدم نظام تصنيف غير معتمد على المراتب).[٦] يُجادِلُ المؤيديون للتصنيف التطوري السلالي الحديث (الفيلوجيني) بأنَّ أنظمة التصنيف التقليدية تَفتَقِرُ المعيار الموضوعي الذي نُقَرِّرُ به أن مجموعة من الكائنات الحية يجب أن تصنف في مستوى محدد –كشعبة مثلًا أو صنف أو رتبة–.[٧] ويُحَاوِلُ أنصار التصنيف غير المعتمد على المراتب التخلص من التحيز الواقع في التصنيف عبر جمع الحيوانات التي يُعتقد أنَّها اِنحَدَرت من سلف مُشترك (بناءً على دراسة الجزيئات المتشابهة في المجموعات المختلفة) في مجموعة واحدة. تعامل هذه الطريقة في التصنيف المجموعات التي تظهر في الوقت نفسه على شجرة الحياة بطريقة متساوية، ورغم ذلك، يستخدم أنصار التصنيف التطوري السلالي التصانيف التقليدية –غالبًا– في حواراتهم التقنية حول كائنات محددة بسبب استخدامها العلمي الشائع. لذا، ومع تعاطفي مع بعض اهتمامات أنصار التصنيف الخالي من المراتب (انظر في الأسفل) اخترت التَّشبُّه بهم في صنيعهم هذا.

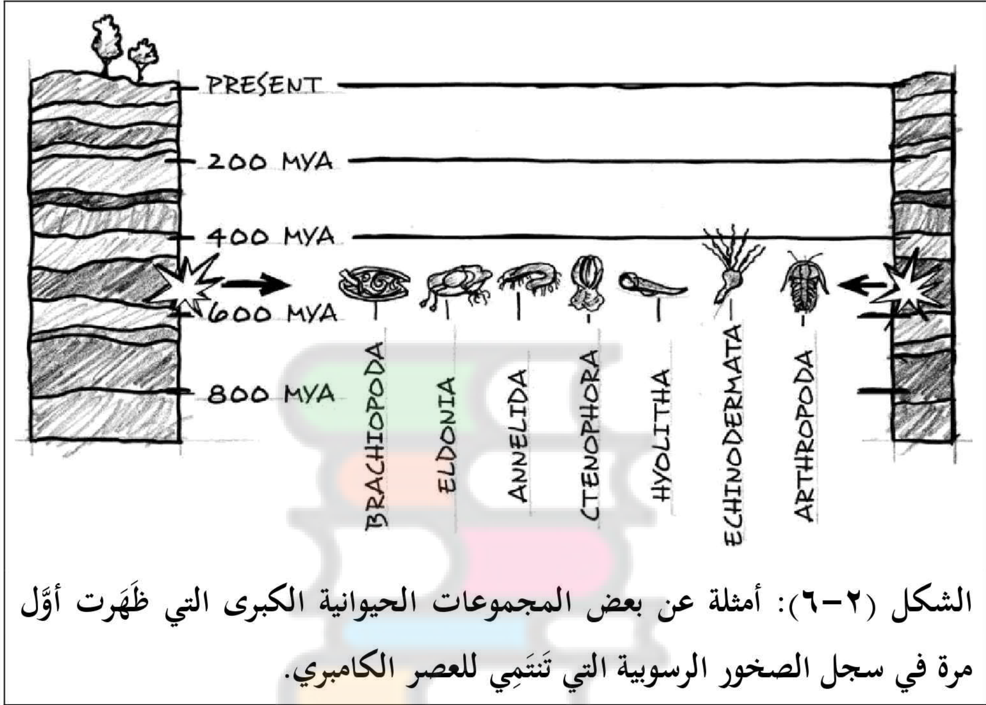
GEOLOGICAL TIME PERIOD	ESTIMATED NUMBER OF ANIMAL PHYLA FIRST APPEARING	CUMULATIVE NUMBER OF PHYLA	NAMES OF PHYLA
PRECAMBRIAN	3	3	CNIDARIA(?) MOLLUSCA(?) PORIFERA
CAMBRIAN	20	23	ANNELIDA, BRACHIOPODA, BRYOZOA, CHAETOGNATHA, CHORDATA, COELOSCLERITOPHORA, CTENOPHORA, ECHINODERMATA, ENTOPROCTA, EUARTHROPODA, HEMICHORDATA, HYOLITHA, LOBOPODIA, LORICIFERA, NEMATOMORPHA, PHORONIDA, PRIAPULIDA, SIPUNCULA, TARDIGRADA, VETULICOLIA
LATER GEOLOGICAL PERIODS	4	27	NEMATODA (CRETACEOUS) NEMERTEA (CARBONIFEROUS) PLATYHELMINTHES (EOCENE) ROTIFERA (EOCENE)
DO NOT APPEAR IN THE FOSSIL RECORD	9	36	ACANTHOCEPHALA, CYCLIOPHORA, DICYEMIDA, GASTROTRICHA, GNATHOSTOMULIDA, KINORHYNCHA, ORTHONECTIDA, PENTASTOMA, PLACOZOA



الشكل (٢–٥): الشكل (٢–٥)a: (فوق) مخطط يُظهر زمن الظهور الأول للحيوانات التي تمثل الشعب الحيوانية المختلفة في السجل الأحفوري. ووفقًا للنظرية الداروينية يجب أن تزداد التباينات في الأشكال البيولوجية تدريجيًّا، فيزداد عدد الخطط الجسدية والشعب بثبات مع مرور الزمن. مراجع تواريخ الظهور الأول لهذه الحيوانات موجودة في الملاحظة ٥ من هذا الفصل. الشكل (٢–٥)b: (أسفل يسار) يُعبِّر عن هذا التوقع تصويريًّا، فيظهر العدد المتزايد بثبات للشعب الجديدة مع استمرار أعضاء الشعبة بالتباعد والتشعب عن بعضهم، مما يَسمح بتشكيل شعبة جديدة. الشكل (٢–٥)c: (أسفل يمين) يظهر النمط الفعلي للظهور الأول، حيث يظهر ارتفاعًا كبيرًا في عدد الشعب بمجرد الظهور الأول في العصر الكامبري، يَتبَعُه ظهور عدد قليل من الشعب أو عدم ظهور أية شعبة جديدة في الفترة التالية من تاريخ الأرض.

وعلى أية حال، من الجدير ذكره أنَّ استخدام نظام تصنيف غير معتمد على المراتب لا يُقَلِّل من غموض الانفجار الكامبري، إذ يشكل الانفجار الكامبري أحجية لعلماء الأحياء التطورية، ليس بسبب عدد الشعب التي ظهرت فيه فقط، بل أيضًا بسبب عدد الأشكال والبُنى الحيوانية المتفردة التي ظهرت فيه –مُقاسة ربما بعدد الشعب–، ومع ذلك يقرر علماء الأحياء تصنيفها. وهكذا سواء قرَّر العلماء استخدام نظام تصنيفي جديد غير معتمد على المراتب أم استقروا على المجموعات التصنيفية القديمة المألوفة التي وضعها لينوس، فإنَّ المستجدات التطورية –أي الأنماط والبنى التشريحية الجديدة– التي تظهر فجأة في حيوانات العصر الكامبري لا تَزال حقائقَ في السجل الأحفوري، وتحتاج لتفسير (لمناقشةٍ تقنية موسعة حول هذا الموضوع انظر الملاحظات الختامية).[٨]

ومن الوقائع اللافتة للنظر، خصوصًا في الانفجار الكامبري، الظهور الأوَّل للعديد من الحيوانات اللافقارية البحرية الفريدة من ممثلي شعب اللافقاريات المتمايزة وتحت الشعب والأصناف الخاصة بها[٩] في النموذج التصنيفي التقليدي، حيث امتلكت بعض هذه الحيوانات هيكلًا خارجيًّا معدنيًّا، ومنها الحيوانات التي تمثل شعب شوكيات الجلد وعضديات الأرجل brachiopods ومفصليات الأرجل، وكل واحدة منها تمثل بوضوح مخططًا جسديًّا جديدًا ومميزًا. بالإضافة إلى أن هذه ثلاثة فقط من عشرات غيرها من المخططات الجسدية الجديدة التي تعرضها حيوانات بورجس، الحيوانات التي حُفظ منها الأجزاء الرخوة والقاسية جيدًا (الشكل ٢–٦).



الشكل (٢-٦): أمثلة عن بعض المجموعات الحيوانية الكبرى التي ظَهَرت أوَّل مرة في سجل الصخور الرسوبية التي تَنتَمِي للعصر الكامبري.

التنوع في صخور بورجس شديد للغاية لدرجة أنَّه استغرق من علماء الأحافير عدة عقود لفهمه بشكلٍ كامل. حاول والكوت -على سبيل المثال- أن يُدرِجَ كلَّ الأشكال الجديدة في الشعب الموجودة في وقته، لكنه في غمار هذه المحاولة أدرك أن المكتشفات في هذا المحجر الثوري تشكل معضلة جذرية تحتاج أكثر من مجرد إعادة ترتيب التصنيف الموجود. اِلْتَقَى والكوت بلويس أغاسيس في شبابه وباعه بعضًا من الأحافير الأولى التي استخرجها، ووصفه لاحقًا بأنَّه "المرشد الذي أثق به وأتبعه"، وبأنه وجد في عمله "هذا الإجلال للعقل العظيم الذي خَلَق الأشياء التي يَعمَل على دراستها".[١٠] لكن في المناظرة الكبرى بين أغاسيس وداروين اِصطَفَّ والكوت إلى جانب الرجل الإنجليزي (داروين). إلى هذا الحد، صَدَمَت صخورُ الغضار الصفيحي في بورجس (والكوت) بفتنتها وغموضها.

نموذج مُحَيّر

لاحظ علماءُ الأحافير على مرِّ السنين سمات متنوعة للانفجار الكامبري، إذ تبصروا في النموذج الكلي للسجل الأحفوري الكامبري وما قبل الكامبري في ضوء مكتشفات والكوت، وكانت هذه السمات غير مُتوقَّعة من وجهة النظر الداروينية[١١]، ومن هذه السمات:

١) الظهور المفاجئ لأشكال حيوانات العصر الكامبري.

٢) غياب أحافير الأشكال الانتقالية الوسيطة، التي تربط حيوانات العصر الكامبري بالأشكال الأبسط المفترضة في عصر ما قبل الكامبري.

٣) البزوغ الفجائي لمجموعة من الأشكال الحيوانية المبتكرة كليًّا، وذات المخططات الجسدية الجديدة.

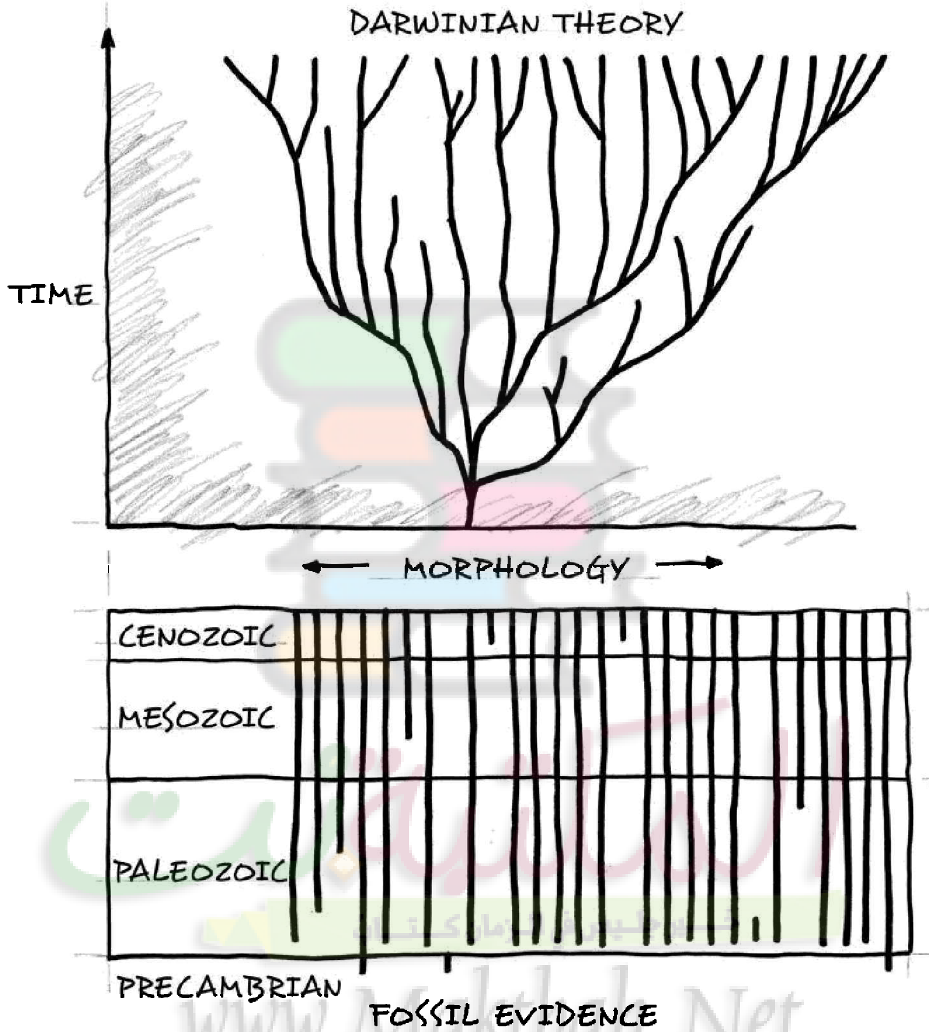
٤) النموذج الذي تَظهَر فيه التبايُنات الجذرية في السجل الأحفوري قبل التنوعات والاختلافات الثانوية صغيرة النطاق، وقد قلب هذا النموذج التوقع الدارويني رأسًا على عقب، ألا وهو حدوث التغيُّرات الصغيرة المتزايدة تدريجيًّا بما يؤدي إلى تباينات أكبر فأكبر في الشكل.

الشجرة المفقودة

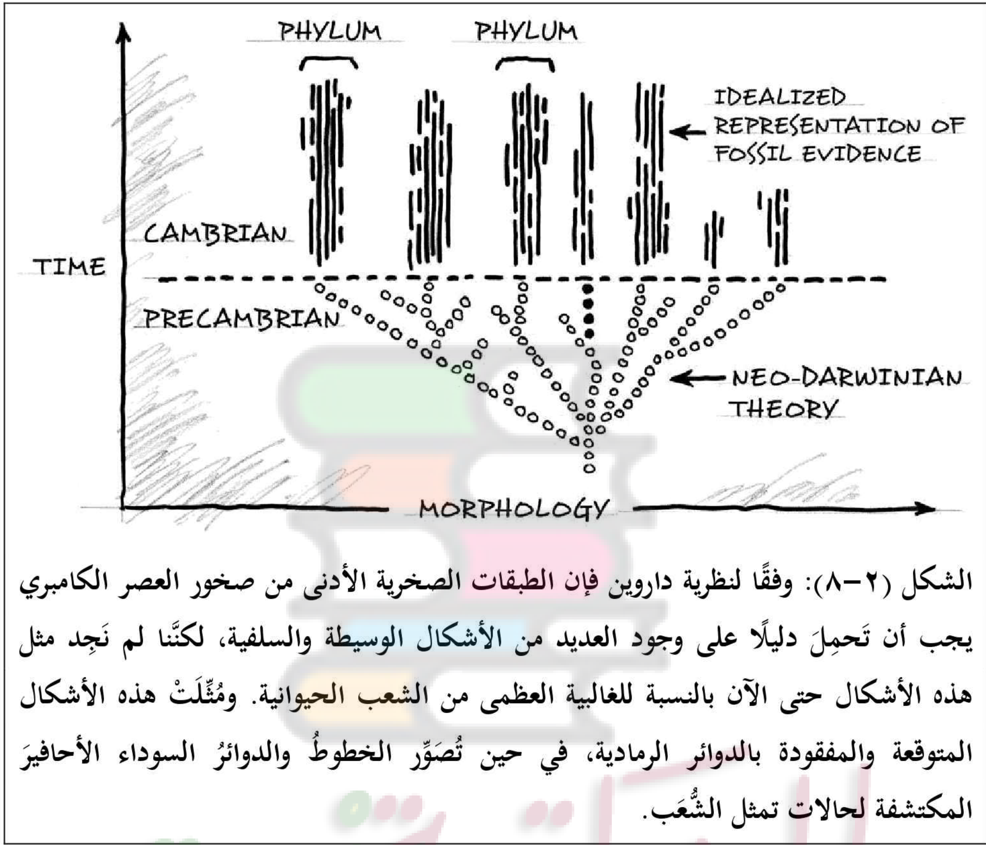
يظهر الشكلان (٢-٧) و(٢-٨) الصعوبة التي تنطوي عليها الخاصتان الأولى والثانية؛ الظهور المفاجئ، وغياب الأشكال الوسطية. وتصور هذه المخططات التغيرات المورفولوجية بمرور الزمن. يظهر الشكل الأول التوقع الدارويني وهو أن التغيرات في المورفولوجيا يجب أن تظهر فقط كتغيرات صغيرة

تتجمع تدريجيًّا، وهذا الإلزام الداروينى بالتغير التدريجي عبر التغيرات التطورية الصغروية يقدم التصور التقليدي للتاريخ التطوري كشجرة متفرعة.

قارن الآن بين نمط الشجرة المتفرعة والنمط الموجود في السجل الأحفوري، يُظهر الجزء السفلي من الشكلين (٢–٧) و(٢–٨) أنَّ الطبقات الصخرية ما قبل الكامبرية لا تُسجِّل الأشكال الوسطية الانتقالية المتوقعة بين حيوانات عصر الكامبري وحيوانات عصر ما قبل الكامبري، بل إن السجل الأحفوري الكامبري وما قبل الكامبري –وتحديدًا في ضوء مكتشفات والكوت لأحافير صخور الغضار الصفيحي في بورجس– يشير إلى الظهور الجيولوجي المفاجئ للمخطط الجسدي المعقد والجديد.



الشكل (٢-٧): أصل الحيوانات. تتنبأ النظرية الداروينية (أعلى) بالتغيرات التطورية المتدرجة، بخلاف الدليل الأحفوري (أسفل) الذي يُبدي الظهور المفاجئ للمجموعات الحيوانية الكبرى.

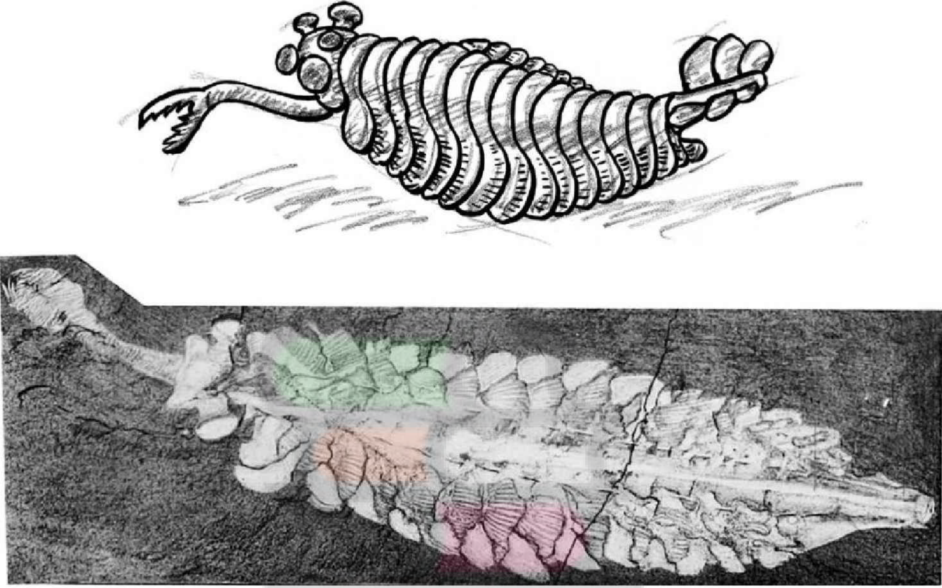


الشكل (٢–٨): وفقًا لنظرية داروين فإن الطبقات الصخرية الأدنى من صخور العصر الكامبري يجب أن تَحمِلَ دليلًا على وجود العديد من الأشكال الوسيطة والسلفية، لكنَّنا لم نَجِد مثل هذه الأشكال حتى الآن بالنسبة للغالبية العظمى من الشعب الحيوانية. ومُثِّلَتْ هذه الأشكال المتوقعة والمفقودة بالدوائر الرمادية، في حين تُصَوِّر الخطوطُ والدوائرُ السوداء الأحافيرَ المكتشفة لحالات تمثل الشُّعَب.

يبين السجل الأحفوري تمامًا التزايد المجمل في تَعقيد الكائنات الحيَّة من عصر ما قبل الكامبري إلى العصر الكامبري كما توقَّع داروين، ولكنَّ المشكلة التي طرحتها المكتشفات في صخور الغضار الصفيحي في بورجس ليست الزيادة في التعقيد، وإنَّما القفزة الهائلة والمفاجئة في التعقيد، إنَّه قَفزٌ بدرجة التعقيد انطلاقًا من الكائنات الحيَّة البسيطة ما قبل الكامبرية –نستكشفها أكثر في الفصل التالي–، وصولًا إلى الأشكال الكامبرية المختلفة جذريًّا، والتي يبدو أنَّها تَظهَرُ فجأة، وهذا لا يسمح بتفسيرها البسيط كنشاط تدريجي للانتخاب الطبيعي والتغيرات العشوائية. لم تُسَجِّلْ طبقاتُ صخور بورجس، ولا أيّة طبقة صخرية رسوبية معروفة في أيام

والكوت، أيَّ نمط لمخططات جسدية مبتكرة تظهر تدريجيًّا عبر سلسلة من الأشكال الوسطية، بل تَظهَرُ الكائنات الحية كاملة التفرد في الطبقة الصخرية الكامبرية؛ مثل Opabinia مفصلية الأرجل الشاذة، ذات الجسم المفصص إلى ١٥ قطعة متمفصلة مع بعضها البعض ومزودة بـ٢٨ خيشومًا و٣٠ فصًا سباحيًّا يُشبِهُ الزعنفة، مع أنف طويل شبيه بالخرطوم، وجهاز عصبي معقد، و٥ عيون منفصلة[١٢] (الشكل ٢-٩)، بالتزامن مع ممثلين آخرين مختلفين تمامًا من حيث المخططات والتصاميم الجسدية المتميزة بنفس القدر من التعقيد.

إِعتَبَر داروين -كما نعلم- أنَّ الظهور المفاجئ لحيوانات العصر الكامبري تَحَدٍّ مهم لتاريخه الطبيعي[١٣]؛ إذ سيتطلب الاصطفاء الطبيعي فترات زمنية طويلة ليملأ الهوة المتوسعة بين أشكال الحياة البسيطة نسبيًّا والمخلوقات المعقدة المتقنة.



الشكل (٢-٩): الشكل (٢-٩)a: (فوق) رسمة فنان لأحفورة Opabinia.
الشكل (٢-٩)b: (أسفل) صورة لأحفورة Opabinia.

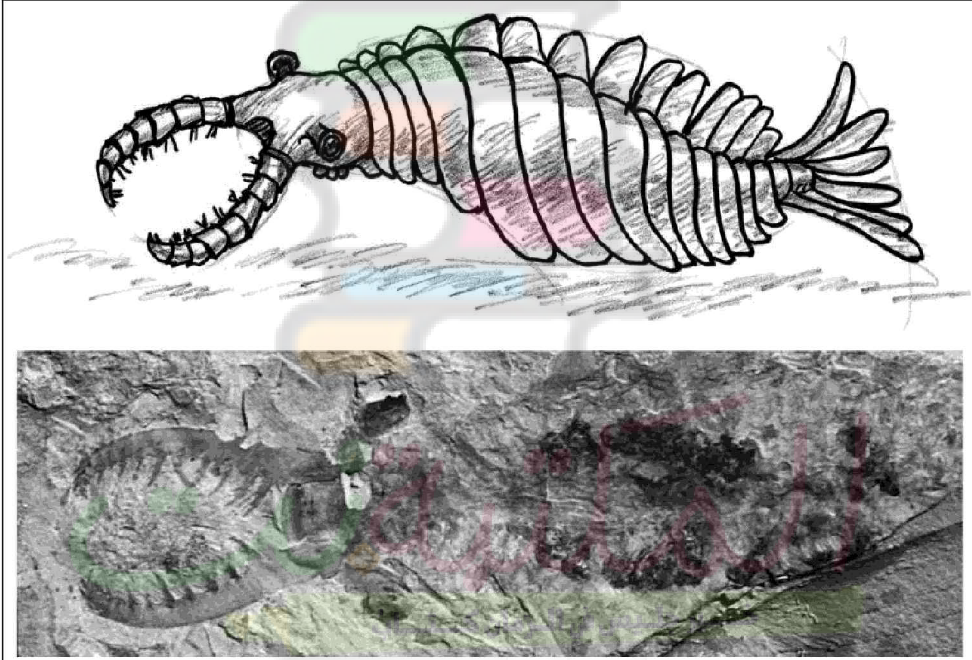
لقد كان داروين[١٥] ذا بصيرة نافذة عندما توقَّع هذه العقبات، فقد وظَّف الجيولوجيون المعاصرون له طُرُقَ تأريخ نسبية، ولم يَكُن لديهم طُرُق حديثة تَقِيس الإشعاع لتحديد العصر الدقيق للصخور. ولهذا السبب لم يتمكنوا من الفهم الدقيق للزمن الذي استغرقته هذه الطبقات الضخمة من الصخور الرسوبية لتتجمع فوق بعضها، وبالتالي معرفة الفترة الزمنية المتاحة للعملية التطورية، ولمَّا يَكتَشِفْ العلماء بعدُ العمليات الداخلية المتقنة في الخلية والبُنى الغنيَّة بالمعلومات -الدنا DNA والرنا RNA والبروتينات- والتي يَتَوجَبُ تغييرها لتحقيق أكثر التغيرات التطورية تواضعًا. رغم ذلك كان اِستنتَاج داروين أنَّ النشوء والارتقاء يَحتاجُ لوقت، بل للكثير منه، بناءً على ما عَرَفَه من تعقيد الكائنات الحية، وفهمه الخاص للكيفية التي يجب على الاصطفاء الطبيعي أن يعمل وفقها.

وإن تذكرنا سياق الحجة الداروينية الأصلية سنفهم السبب، حيث تطلّع داروين في كتابه أصل الأنواع إلى معارضة حجة (تصميم صانع الساعات للساعة) والتي طرحها عالم الأديان وليام بالي William Paley. كانت حجة بالي أن البُنى المعقدة في الساعات نتيجة فعل ذكي قد قام به –بالضرورة– صانع الساعات، وبالمثل فإن البنى المعقدة في الكائنات الحية تستوجب الإشارة إلى الذكاء المصمم لها، فافترض داروين آليَّة طبيعية خالصة لبناء الأعضاء والبُنى المعقدة –كالعيون– الموجودة في العديد من أشكال الحياة، ألا وهي الاصطفاء الطبيعي، حيث تعمل آليَّة الاصطفاء الطبيعي على بناء هذه الأنظمة بخطوات صغيرة جدًا مع مرور الزمن، مهملةً التغيرات الضارة، ومتمسكة بالتحسينات النادرة. لو تقدَّم التطوُّر بطريقة تفترضُ ظهور الأنظمة التشريحية الكاملة –كعيون ثلاثيات الفصوص مثلًا– فستشابه البيولوجيا عندها التصور القديم الأخرق بأنَّ الساعة قابلة للتجمع التلقائي بالصدفة المحضة ودفعة واحدة؛ لذلك إنْ لم تعمل آليَّة داروين التطورية متدرجة على حفظ التغيرات العشوائية الأصغر، التي تحدث عبر ملايين السنين، فلن تَعمَلَ على الإطلاق.

المزيد من حلقات الربط المفقودة

أثبتت الخاصتان الأخريان من خواص الانفجار الكامبري الذي شهدناه في صخور الغضار الصفيحي في منطقة بورجس –الخاصتان ٣ و ٤ المذكورتان آنفًا– حقيقة الأحجية الكامبرية، ووسَّعَتْها أيضًا وعمقتها، في الوقت نفسه الذي تطلّع فيه علماء الأحافير لحلِّ الأحجية باكتشافات أحفورية جديدة. أولًا، تتطلَّب الوفرةُ الهائلة من الأشكال الحية الجديدة تمامًا في تجمع بورجس (السِمَة الثالثة) المزيد من الأشكال الانتقالية بأكثر ممَّا كنَّا نَبحَث عنها من قبل، إذ يتطلب كل مخلوق

جديد وغريب من مخلوقات العصر الكامبري –مثل anomalocarids (الشكل ٢–١٠)، وMarrella وOpabinia، والكائنات الشاذة المسماة بشكل موفق هلوسيات Hallucigenia–، والتي ليس لها أشكال سلفية واضحة في الطبقات الأدنى، يتطلب سلسلته الخاصة من الأسلاف الانتقالية. لكن أين كل هؤلاء الأسلاف؟



الشكل (٢–١٠): بإذن من J. Y. Chen الشكل (٢–١٠)a: (فوق) رسمة فنان لأحفورة Anomalocaris. الشكل (٢–١٠)b: (أسفل) صورة لأحفورة Anomalocaris.

حَلُمَ داروين أن تؤدِّي الاكتشافات الأحفورية التالية إلى ملء الفراغات التي اِعتَبَرها الشذوذ الواضح المتعلق بنظريته، لكن لم يَكُن اِكتِشَاف (والكوت) من هذا القبيل؛ إذ أنَّه لم يَفشَل فقط في اكتشاف الطلائع السلفية المتوقعة لأشكال الحيوانات الكامبرية المعروفة، بل كشف أيضًا الطاقم المتنوع الذي لم يكن معروفًا

في السابق من الأشكال والمخططات الجسدية التي تتطلب الآن تحديد سلسلتها من الأسلاف التطورية على طول الخط، بما يعقد مهمة تفسير الانفجار الكامبري وفق المفاهيم الداروينية.

الرتب من الأعلى

شَكَّلت صخور الغضار الصفيحي في منطقة بورجس صعوبةً إضافية –السمة الرابعة التي ذكرناها آنفًا–، رغم أنَّها لم تكن معروفة لـ(والكوت) خلال فترة حياته، بل استغرق الأمر نشوء جيل آخر من خبراء العصر الكامبري لمعرفة ذلك، وتحديدًا (ستفن جي غولد).

تَقتَضي نظرية داروين أنَّ الأشكال الحيوانية الجديدة تبدأ في الظهور أولًا من سلف مشترك، فتكون في البداية متشابهة للغاية، لتظهر بعد ذلك الفروق الكبيرة في أشكال الحياة –أو ما يسمِّيه علماءُ الأحافير بالتباين disparity– متأخرة جدًا كنتيجة لتجمع العديد من التغيرات التراكمية. يُشيرُ التباين من الناحية التقنية إلى الفروق الكبيرة في الشكل، والتي تَفصِل المجموعات التصنيفية العليا كالشعب والأصناف والرتب. وعلى النقيض يشير مصطلح التنوع diversity للفروق الصغيرة بين الكائنات الحية المصنفة كأجناس أو أنواع مختلفة. بطريقة أخرى، يشير التباين للجوانب الأساسية للحياة، في حين يُشير التنوع للتغيرات variations في هذه الجوانب. وكلمَّا تزايد عدد المخططات الجسدية في السجل الإحفوري، ازداد التباين. تُظهر الأشكال الحيوانية المحفوظة في الغضار الصفيحي في بورجس تباينًا مُعتبرًا، بل أبلَغ من ذلك أنها تُوضح الفروقات الكبيرة في الشَّكل بين الحيوانات الأولى فجأة في غضار منطقة بورجس الصفيحي، وظَهَر هذا التباين قبل –وليس

بعد– تشعب عدة أمثلة من المجموعات التصنيفية الأدنى –كالأنواع والأجناس–، ضِمنَ المجموعات التصنيفية الأرقى التي تُمَثِّل مخططًا جسديًّا جديدًا.

يظهر موقع صخور بورجس ومسرحها الجميل الفرق بين التنوع والتباين؛ حيث يَختَفي محجر والكوت الشهير في جبال الروكي الكندية قُربَ الفاصل القاري Continental Divide (٣)، وللوصول إلى ذلك المكان يجب المشي ٦ أميال عبر المشاهد الأخَّاذة لحديقة (يوهو) الوطنية وشلالات تاكاكاو وبحيرة إميرالد والأنهار الجليدية والقِمَمُ الجبلية الجليدية المتوزعة في كل مكان تلتفت إليه تقريبًا، وفي هذا المسرح المتنوع بيئيًّا تكون لدى السائرين الفرصة لرؤية السلحفاة والمرموط والغزال والموظ والأيل والثعلب والماعز الجبلي، وربما يرى السائرون نادرًا الدب الرمادي أو السنور الكندي، وقد يَلمَحُ دارسو الطيور المتنبهون القُبّرة القرناء أو طائر الترمجان الأبيض ذا الذيل أو طائر الجشنة المائي أو الحسون الوردي ذا التاج الرمادي أو النسر أو الصقر أو صقر الأرض العشبية أو طائر الغطاس أو الزرياب أو طائر الدخلة المهاجر أو البط المزركش.[١٦]

ومع كل هذا التنوع الكبير في الحيوانات، إلا أنَّها تَنتَمي جميعها لشعبة واحدة –الحبليات Chordata–، بل ومن تحت شعبة واحدة –الفقاريات–. تخيَّل أنَّك تمشي إلى المحجر للتنقيب فيه فيصادفك الحظ لتلحظ كل هذه الحيوانات على طريقك، وبعد أن تُمَتِّع ناظريك بكل هذه الحيوانات المتنوعة تصل إلى محجر والكوت لتكتشف ليس فقط عشرات من الأنواع المتحجرة من تحت شعبة واحدة، بل مخلوقات متفاوتة للغاية من عدة شعب حيوانية.

---

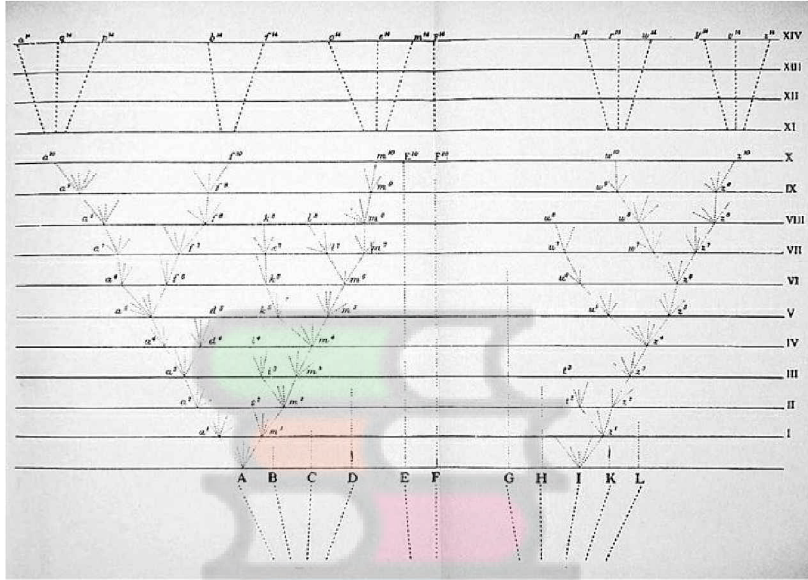
(٣) Continental Divide: سلسلة من جبال الروكي تشكل الخط الأمريكي الشمالي الفاصل بين الأنهار التي تسير نحو الشرق والأنهار التي تسير نحو الغرب.

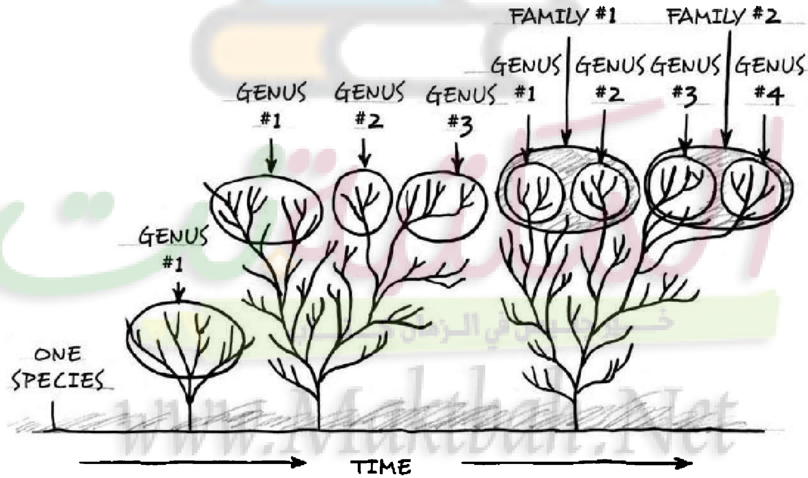
ووفقًا للنظرية الداروينية، تزداد الفروق تدريجيًّا في الشكل –أو التباعد المورفولوجي– بين الكائنات الحية الخاضعة للتطور بمرور الزمن، إذ تتجمع التغيرات صغيرة النطاق بالاصطفاء الطبيعي لإنتاج أشكال متزايدة التعقيد في الشكل والبنية (بما في ذلك إنتاج مخططات جسدية جديدة في النهاية). بعبارة أخرى، يَتَوقَّع أحدُنا أن تسبقَ الفروقُ صغيرة النطاق بين الأنواع التباينات المورفولوجية كبيرة النطاق بين الشعب، وكما يقول البيولوجي في جامعة أوكسفورد سابقًا والمؤمن بالداروينية الجديدة (ريتشارد دوكنز): "بمرور الوقت الكافي يصبح النوعان المتمايزان ضمن جنس واحد جنسين متمايزين من نفس الفصيلة، ثم سنجد أن الفصائل تتشعب لدرجة يفضل فيها علماء التصنيف اعتبارها رتبًا بدلًا من ذلك، ومن ثم تصبح أصنافًا وبعدها شعبًا".[١٧]

تَحدَّث داروين عن هذه القضية آنفًا في كتابه أصل الأنواع، شارحًا مخططه الشجري الشهير(الشكل ٢-١١a)، وذاكرًا أنَّ هذه الشجرة لا تصور نظرية الأصل العام المشترك فقط، بل إنَّها تصور أيضًا كيف يجب أن تَظَهر المجموعات التصنيفية الأعلى من المجموعات التصنيفية الأدنى، عبر تجمع عدد هائل من التغيرات الضئيلة، فقال: "يصور المخطط درجات تزايد الفروق الصغيرة المميزة للتنوعات varieties، لتصبح فروقًا أكبر مميزة للأنواع".[١٨] ثم تابع ليؤكد أنَّ عملية الارتقاء بالاصطفاء الطبيعي ستتحرك في النهاية لتتجاوز تشكيل أنواع وأجناس جديدة، وصولًا إلى تشكيل "فصيلتين أو رتبتين متمايزتين وفقًا لحجم التباعد، والتعديلات المفترضة التي يَجبُ أن تُمثّل في المخطط".[١٩] وتستمر هذه العملية من وجهة نظره حتى تُنتِجَ فروقات كبيرة في الأشكال، ما يَكفِي ليقوم علماء التصنيف باعتبارها أصنافًا أو حتى شُعبًا جديدة. باختصار نقول إنَّ التنوع يَسبِقُ التباينَ، وستظهر الفروق من مستوى الشعب في مخطط الجسم فقط بعد أن تظهر الفروق من مستوى الأنواع والأجناس والفصائل والرتب والأصناف.

على كلٍ يناقض النمطُ الواقعيّ في السجل الأحفوري هذه التوقعات (قارن الشكلين ٢-١٢ و٢-١١b)، وفي النهاية بدلًا من أن يؤدِّي المزيد والمزيد من الأنواع إلى المزيد من الأجناس -ثم الغصائل فالرتب فالأصناف فالشعب- يُظهر السجل الأحفوري فجأة ممثلي شعب منفصلة أولًا ثم يتبعه تشعب إلى مستوى أدنى من ذلك المنطلق.

لا تَظهَرُ هذه المشكلة جلية صارخة بهذا الشكل في أي فترة بقدر ما تظهر في الفترة الكامبرية، وهو ما يُفَسِّر ما كتبه روجر لوين Roger Lewin في مجلة العلم Science: "توجد أنماط متعددة محتملة لتأسيس التصانيف الأعلى، لكنّ أوضح تلك المقاربات هما المقاربة التصاعدية والمقاربة التنازلية، وتَظهر الابتكارات التطورية في المقاربة التصاعدية بتدرُّج بطيء، لكن يبدو أنَّ الانفجار الكامبري متوافق مع النمط الثاني التنازلي".[٢٠] أو كما ذكَرَ علماءُ الأحافير دوغلاس إروين وجيمس فالنتاين وجاك سبكوسكي في دراستهم للحيوانات اللافقارية البحرية ذات الهياكل: "يشير السجل الأحفوري إلى دفقات كبرى من التشعب أدَّت لظهور الشُّعب قبل الأصناف، ولظهور الأصناف قبل الرتب وظهور الرتب قبل الفصائل... لا يبدو أنَّ المجموعات التصنيفية الأعلى قد تشعبت نتيجة تجمع المجموعات التصنيفية الأدنى".[٢١] أي بدلًا من تكاثر الأنواع وممثلي المجموعات التصنيفية الدنيا في البداية ليبنى عليها تباين المجموعات التصنيفية العليا، تظهر بداية الفروقات التصنيفية العليا كالتي بين الشعب والأصناف أوَّلًا (بدليل النُّدرة النِّسبيَّة في أمثلة مستوى النوع التصنيفي)، ويَحفظ السجل الأحفوري لاحقًا -وفقط لاحقًا- (في الطبقات الصخرية الأحدث) تكاثرَ ممثلي الطبقات التصنيفية الأدنى؛ من الرتب المختلفة والغصائل والأجناس و.. إلخ. ومع ذلك، لن نَتوقَّعَ أن تُنتج الآليَّات الداروينية الحديثة -ممثلة بالاصطفاء الطبيعي الذي يعمل على الطفرات الجينية العشوائية- نموذجًا تنازليًا كالذي نشاهده في تاريخ الحياة التالي للانفجار الكامبري.

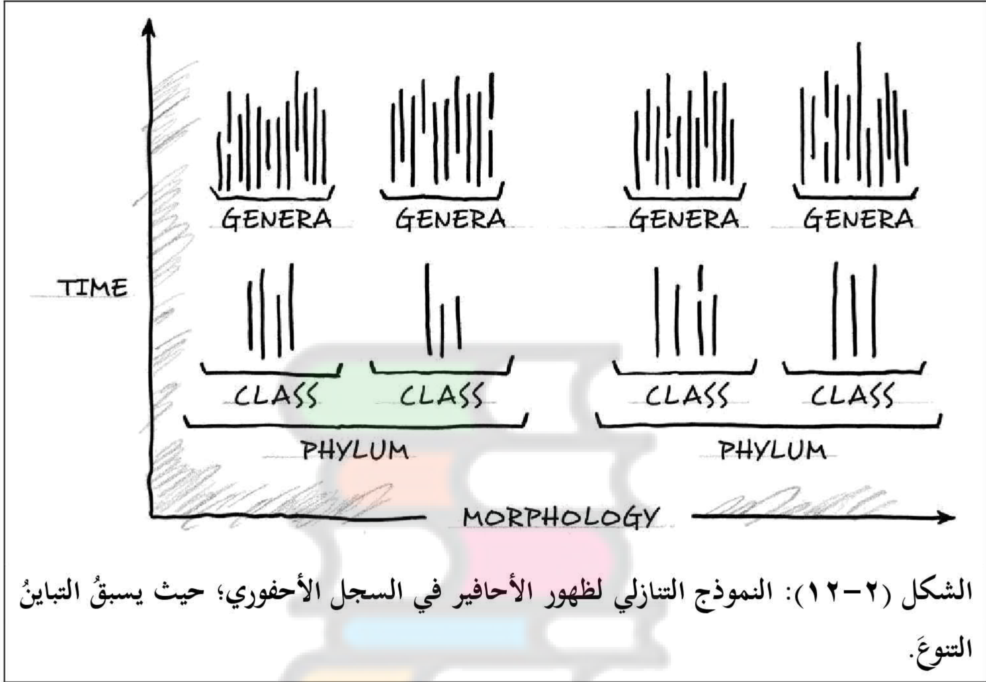




الشكل (٢-١١): الشكل (٢-١١)a: (أعلى) نظرية داروين في النشوء والارتقاء، مصورة هنا بنموذجه لشجرة الحياة الشهيرة المتفرعة كما تخيلها كتاب أصل الأنواع عام ١٨٥٩. الشكل (٢-١١)b: (أسفل) نمو شجرة الحياة عبر الزمن بالطريقة التي تَخيَّلَها داروين، حيث تؤدي

الأنواع الجديدة إلى الأجناس الجديدة، ومن ثم الفصائل، وصولًا إلى الرتب والأصناف والشعب (لم تظهر هذه المجموعات التصنيفية في الرسم).

بالطبع لا يَصِفُ أنصار التصنيف التطوري السلالي الحديث –بمقاربتهم المتجردة عن المراتب– هذه الظاهرة بكونها نموذجًا تنازليًا؛ لأنَّ نظامَ التَّصنيف لديهم يعفي من المراتب التصنيفية والتسلسلات الهرمية، فليس هناك في نظامهم الجديد أي نزول أو صعود. إلا أنَّ مناصري التصنيف السلالي التطوري يعترفون حقًا بقدرة التوليفات المختلفة من الصفات الخاصة (أو السمات) في الكائنات الحية على الإشارة لفروق مورفولوجية أكبر أو أصغر بين السلالات التطورية المختلفة clades؛ وهي مجموعات الكائنات الحية القريبة جدًا والتي تَشتَرِكُ بسلفٍ واحد. كما ذَكَرَ بعض المناصرين البارزين للتصنيف التطوري السلالي بأنَّ السجل الأحفوري يُبدِي نمطًا تأتي فيه بضعة صفات مميزة تشير إلى فروق مورفورلوجية كبيرة بين الأعراق التطورية الظاهرة أولًا، يلي ذلك ضمن كل عرق تطوري إضافة عدة توليفات من الصفات التي تُشيرُ إلى الفروق الأصغر فيما بين تلك الأعراق. وتظهر الفروق الأكبر بين الأعراق التطورية أولًا، ثم تظهر لاحقًا الفروق الأصغر ضمن هذه الأعراق التطورية؛ أي أن التغيرات الرئيسية themes تسبق التغيرات variations.



الشكل (٢-١٢): النموذج التنازلي لظهور الأحافير في السجل الأحفوري؛ حيث يسبقُ التباينُ التنوعَ.

ذَكَرَ مؤسسُ التصنيف التطوُّري السلالي الحديث ويلي هينيغ Willi Hennig -على سبيل المثال- أنَّه بمجرد ظهور مجموعات محددة يتضاءل ضمنها مدى التغيرات المسموح بها، واستشهد هينيغ في مؤلفه التقليدي المسمَّى (علم تصنيف الأحياء التطوري السلالي Phylogenetic Systematics) بكلام عالم أحافير آخر لاحظ أنَّ: "عرض التطور في المجموعات المتتالية يظهر ميلًا مميزًا نحو التناقص؛ لأنَّ التشعبات الأساسية في النظام تصبح أقل باستمرار. إن نمط الثدييات أكثر انتظامًا وتقاربًا من نمط الزواحف، والتي هي بدورها دون أدنى شك أكثر انتظامًا من البرمائيات وأخواتها المنقرضة Stegocephalia إذا ما قورنت بها". ويتابع هينيغ أنَّ "الظاهرةَ متكررةٌ في كل وحدة تنظيمية من المراتب العليا أو الدنيا".[٢٢]

ويَجب مع ذلك من وجهة النظر الداروينية أن تَظهرَ التغيُّرات والفروق صغيرة النطاق أولًا، ثم تتزايد تدريجيًّا لتصبح فروقًا كبيرة النطاق في الشكل، وهذا يعاكس تمامًا النموذج الذي يدل عليه السجل الأحفوري. لذا فإن هذا الاكتشاف في بورجس –والدراسات اللاحقة له– يَكشفُ سمةً محيرةً أخرى في السجل الأحفوري من وجهة النظر الداروينية بغض النظر عن أي نظامٍ تصنيفي يُفَضِّلُ علماءُ الأحافيرِ اِستخدامَه، فالحقيقة أنَّ مُكتشفات والكوت قد قلبت التصوُّر الدارويني –القائل بظهور الفروق الصغيرة أولًا لتتبعها التغيرات الكبيرة– رأسًا على عقب.

الانطباعات الأولى

ساعدت الظروف الاستثنائية في الحفاظ على حيوانات بورجس لتبين مدى شدة التنوع –والتباين أيضًا– في الأشكال التي كانت تَعيشُ في العصر الكامبري. تبدو أحافير بورجس في الغضار الصفيحي ذي الحبيبات الناعمة صورًا مطبوعة في الحجارة –ليثوغرافيا– بالأبيض والأسود (انظر الصورتين الملونتين آخر الكتاب ١٥ و١٦)، وحفظت حتى الأجزاء الطرية كالخياشيم والأمعاء أحيانًا. هذا نادرٌ في عالم الأحافير، حيث تتحلل عادة النسج الطرية قبل أن تتحجر، تاركة وراءها الأجزاء الصلبة فقط كالعظام والأسنان والصدفات، ويبدو أن حادثة بورجس التي حفظت سجل حيوانات العصر الكامبري لنكتشفه مستقبلًا مختلفة كليًّا، فرغم أنَّها أخذت حياة الحيوانات الكامبرية التي لا حصر لها، إلا أنَّها نَزَعَت أرواحها بلطفٍ بالغ بحيث حَفظت لنا النسج الطرية.

سيقودنا البحثُ عن حقيقة ما جرى إلى معرفة سبب الظروف الاستثنائية في هذا المكان، فكل الحيوانات المتحجرة في صخور غضار بورجس الصفيحي مخلوقات مائية تعيش بالقرب من منعطف مرجاني كربوني اِرتفعَ فيما بعد بدفع من

الصفيحة التكتونية ليشكِّل ما نعرفه الآن بـ(جرف كاتدرال Cathedral Escarpment)، بعد فترة طويلة من دفن هذه المخلوقات البحرية، رفعت القوى التكتونية هذه الأحافير عن قاع البحر وحملتها عدة أميال شرقًا عبر الصدوع، وذلك في نفس الوقت الذي بُنيت فيه هذه الجبال التي سيتسلقها والكوت بعد ذلك بملايين السنين.

يَعود الفضل للحركة التكتونية لصفائح الأرض الكبرى في تموضع القارات الآن في مواقع مختلفة تمامًا عمَّا كانت عليه قبل ملايين السنين، ففي الوقت الذي كانت فيه مخلوقات العصر الكامبري حيَّة كانت كتل اليابسة التي تُشكل الآن أمريكا الشمالية موجودة عند خط الاستواء.

تَشرحُ حركة الصفائح التكتونية سبب اكتشاف المخلوقات البحرية والمتحجرة في جبال حديقة يوهو الوطنية بدلًا من وجودها في قاع البحر في منطقة ما، لكن لا يزال في جعبتنا سؤال عن سبب حفظ العديد من الأنماط المختلفة من اللافقاريات البحرية –بما فيها تلك التي لا تملك هياكل قاسية– بهذا الشكل غير المعتاد، ويظن علماء الأحافير أنهم يعرفون السبب، إذ يرون أن الحيوانات البحرية التي تحجرت فيما بعد في غضار بورجس عاشت قرب قاع البحار القديمة، بالقرب من جرف أو خندق، ونتيجة للنشاط التكتوني بدأت الحجارة من حافة هذا الجرف بالتكسر والتساقط، فشكلت سيلًا طينيًّا تحت الماء في مكان موت هذه الحيوانات، نَقلَ هذا التساقط والتدفق جثث حيوانات بورجس لعدة كيلومترات نحو المياه الأعمق حيث دُفنت بطريقةٍ تجعلها سليمة تمامًا وبعيدة عن متناول الرميات والجراثيم. من الراجح أن السيل الطيني كان عنيفًا للغاية؛ إذ وَجدَ علماءُ الأحافير أنَّ هذه الأحافير مطمورة ومحفوظة بزوايا مختلفة، تتناسب مع أماكن ترسبها، وقد

أنتجت سرعة وضغط هذه السيول الطينية بيئةً خالية من الأكسجين، ساعدت في الحفاظ على أجساد الكائنات، ثم ضغطت التيارات الهائجة والطينية الطمي والغضار نحو شقوق وصدوع الأجسام بالمقدار الصحيح من الضغط والكثافة بما يَتَلاءمُ مع تحوُّل هذه الكائنات إلى متحجرات دون تمزيق زوائدها الهشة. لقد كانت حزمةً من الظروف المثالية وكأنَّها تَعمَلُ لتضمن إمكانية اكتشافها من قِبَلِ علماء أحافير المستقبل.[٢٣]

جزئيًّا، ونظرًا للظروف الاستثنائية التي حفظت فيها هذه الأحافير، فالقليل من الشكوك تحوم الآن حول التنوع والتباين الفريد في حيوانات العصر الكامبري، إذ بناءً على الدليل المتاح من صخور بورجس والمناطق الأخرى حول العالم فقد شهدت الفترة الكامبرية ظهور تباين كبير في المخططات الجسدية أكثر من أي وقتٍ مضى، الأمرٌ الذي يثير الجدل، وظَهرَ هذا التباين في وقت غير متوقَّع البتة، وفقًا لما تفترضه نظرية داروين، ألا وهو أسفل شجرة الحياة الحيوانية.

فرضية الأحافير المخادعة

كان والكوت مُتفهِّمًا لهذه الصعوبات، لكنَّه يضمر التزامًا مهنياً عميقًا بالداروينية، ولذلك بدأ بالبحث عن الحل. أدرك والكوت أن السجل الأحفوري ما قبل الكامبري قادر من حيث المبدأ على المساعدة في شرح نمط السجل الأحفوري الكامبري، حيث إن اكتشاف تاريخ أحفوري وافر لعصر ما قبل الكامبري -بشكل يعطي تفاصيل عن تجمع التغيرات شيئًا فشيئًا- سيخدم في تفسير نمط أحافير بورجس بشكل آخر، ومع ذلك فإنَّ الطبقات الصخرية ما قبل الكامبرية في يومه لا تُظهرُ أية علامات عن توفُّر أشكال انتقالية واضحة، فضلًا عن أن تُعطي دليلًا على النمط التصاعدي للحيوانات التي تمثل المجموعات التصنيفية الأدنى،

التي تتكاثر لتعطي أشكالًا تمثل المجموعات التصنيفية الأعلى. ومع ذلك، خطرت فكرة على بال (والكوت) منحته بعض الأمل!

ربما كان ما حفزه على ذلك هو درايته بالطرق الدراماتيكية التي تغيَّر بها سطح الأرض عبر العصور الجيولوجية، ما يَجعلُ من حفظ حيوانات منطقة بورجس هكذا أمرًا ممكنًا. إنَّ إيجاد الحيوانات البحرية مرتفعة فوق السفوح الجبلية العالية سيجعل والكوت بلا أدنى شك مدركًا بالكلية لطريقة تغير مواقع القارات والبحار عبر تاريخ الأرض، ومنه افترض والكوت –كعالم أرض– حلًّا جيولوجيًّا حاذقًا للمعضلة البيولوجية حول أصل الحياة الحيوانية، فقد ذَكرَ أنَّ عصر ما قبل الكامبري كان الحقبة المثيرة التي نَهَضت فيها القارات، واقترح أن أسلاف ثلاثيات الفصوص تطورت أولًا عندما تراجعت بحار ما قبل الكامبري عن كتل اليابسة، ثم في بداية العصر الكامبري ارتفعت البحار مجددًا وغَطَّت اليابسة، وترسبت ثلاثيات الفصوص التي تطورت حينها. لذا، ووفقًا ل(والكوت)، فإن الأسلاف التطورية لثلاثيات الفصوص والأشكال الكامبرية المميزة الأخرى موجودة فعلًا، لكنَّها لم تتحجر في أماكن الرسوبات التي ارتفعت حينها فوق سطح البحر حتى بداية العصر الكامبري، أمَّا ثلاثيات الفصوص وأسلافها التي تطوَّرت أثناء فترة انخفاض مستوى ماء البحر فقد تموضعت هياكلها في الرسوبات التي ترقد في أعماق البحار الآن فقط.[٢٤] سمَّى والكوت هذه الحقبة المخفية من الزمن، والتي تطورت فيها ثلاثيات الفصوص والحيوانات الأخرى بسرعة بعيدًا عن الشاطئ، بالفترة الضائعة Lipalian interval (يشتق المصطلح Lipalian من كلمة الضياع في الإغريقية)، وبهذه النظرة فإنَّ الظهور المفاجئ لمخططات الأجساد الكامبرية في العمود الجيولوجي محْض خداع، سببه نقص في العينات المتاحة في السجل الأحفوري، وعدم القدرة

في الواقع على الوصول إلى الطبقات الرسوبية في أعماق البحار حيث ترقد حيوانات العصر الكامبري. واختصارًا، لقد جعل انحسارُ واجتياح البحارِ القديمة أسلاف حيوانات العصر الكامبري بعيدة المنال عن الاكتشاف.

كانت فرضية الأحافير المخادعة لـ(والكوت) –والتي تعرف أيضًا بفرضية الفترة الضائعة– تَقَدُّمًا مميزًا عن ادِّعاء داروين البسيط بأنَّ أحافير أسلاف حيوانات العصر الكامبري لما تكتشف بعد، وأن المسألة مسألة وقت. وقد كان لفرضية والكوت –بتفسير الظهور المفاجئ لثلاثيات الفصوص وغياب الأشكال الانتقالية والسلفية– ميزة توجيه الاتهام للعمليات الجيولوجية، كما أن هذه الفرضية قابلة للاختبار بمجرد تطوُّر تقنيات الحفر في أعماق البحر على الأقل، ما سيَسمحُ بأخذ العينات من الصخور الرسوبية المدفونة هناك.

ورغم إذعان والكوت بأن فرضيته أساسًا مجرد حجة سلبية حاولت توضيح غياب الدليل، إلا أنَّه أصرَّ على أنَّها استدلال منطقي بناءً على العينات الواسعة والبيانات الأحفورية المتاحة، وقال: "أدرك تمامًا أنَّ النتائج المذكورة آنفًا مبنية أساسًا على غياب الحيوانات البحرية من صخور دهر الطلائع القريب Algonkian (من البروتيروزويك) من عصر ما قبل الكامبري... لكن حتى يوم اكتشافها مستقبلًا، فإنني لا أعلم تفسيرًا آخر محتملًا للظهور المفاجئ لحيوانات العصر الكامبري غير هذا".[٢٥]

التجميع والتفريق

استخدم والكوت أيضًا استراتيجية أخرى ليوفِّقَ بين صخور الغضار في بورجس مع نظرية التطور لداروين. انقسم خبراء التصنيف –حاملين مهمة تعريف

وتسمية المجموعات المميزة من أشكال الحياة- إلى قسمين: أهل التجميع lumpers، وأهل التفريق splitters. إذ يَميلُ أهلُ التَّجميعِ إلى تَصنيف الكائنات المتباينة في مجموعة تصنيفية كبيرة واحدة معًا، ثم التمييز بينها في المجموعات التصنيفية ذات المستوى الأدنى، في حين يميل أهل التفريق إلى فصل الكائنات المتشابهة إلى تقسيمات تصنيفية عليا كثيرة، وكان والكوت يميل إلى التجميع. لقد قلَّص اعتماد ذلك الأسلوب مع أحافير بورجس الصعوبات المرافقة للتكاثر السريع في العديد من الأشكال الكامبرية الجديدة.

وعند عودته لمعهد سميثسونيان وضع والكوت كل الأشكال الشاذة التي وجدها في بورجس في شعب حديثة، وتجلَّت أحد جهوده في التجميع ليس فقط في وضع Marrella splendens في ذات صنف ثلاثيات الفصوص Trilobita، بل ووضعها في نفس الشعبة، بالرغم من الاختلافات المورفولوجية الواضحة.

برَّر والكوت ذلك بزعمه أنَّ هذا الكائن الحي سبق ثلاثيات الفصوص مباشرة (قارن الشكلين ١-٤ و٢-٣)، لكن غولد انتقد لاحقًا طريقة والكوت في التصنيف، لكونها أشبه بالإقحام، وذكر أنَّ أحد أتباع والكوت من أهل التجميع – وهو خبير الأحافير من جامعة Yale تشارلز سكوتشرت- شكَّك في هذا التصنيف للماريلّا.[٢٦] وذكر غولد أيضًا أن والكوت استخدم هذه الاستراتيجية لتصغير التحدي الذي يشكله التباين المورفولوجي الكبير في أشكال أحافير بورجس.[٢٧]

يرفض بعض علماء الأحافير اليوم انتقادات غولد على ضم والكوت العديد من الأشكال الحيوانية الموجودة في بورجس إلى مجموعات تصنيفية موجودة الآن، إلا أن القليل من علماء الأحافير يظنون أن استخدام والكوت للتجميع قد فسَّر الانفجار الكامبري، إذ أن معظمهم يصنف -على سبيل المثال- Marrella

splendens في شعبة حديثة باقية تُدعى مفصليات الأرجل، مع أنَّهم وضعوها في صنف جديد ومنفصل تحت اسم Marrellomorpha. ومع ذلك، سواء انضمت الماريلا مثلًا لشعبة أو صنف جديد أم لا فهذا أقل أهمية من تفسير سبب ظهور الكثير من الأشكال الجديدة والبُنى المبتكرة لهذه الحيوانات في المقام الأول، وبهذا الشكل الذي يبدو أنه حصل حين غرة.

إرجاء القرار إلى حين

يَظنُّ والكوت بأنَّه حلَّ أحجية الانفجار الكامبري كما هو حال العديد من الداروينيين الذين أقرُّوا مسرورين بمنهجه في التصنيف، وفرضيته في الأحافير المخادعة. تحلم فرضية والكوت بأن يأتي يوم تُكتشف فيه أدلَّة على جذع الشجرة الحيوانية –الذي أنتج الشُّعب– وفروعها، وعندها لن يَتهمَ أحدٌ أنصارَ هذه الفرضية باعتناق عقائد غير قابلة للاختبار بدلًا من اعتناق الحجج التي يقدمها علم الأحافير، فما عليهم إلا الانتظار حتى تظهر تقنيات حفر أعماق البحار، ويأملوا بأن الطبيعة على حق، وأن الأحافير محفوظة تحت قيعان المحيطات لتترك دليلًا قويًا على الظهور التدريجي للمخططات الجسدية الكامبرية الرئيسة.

إنَّ ما حقَّقه (والكوت) نظريًّا لهو إنجاز بكل معنى الكلمة، ومَثَلُ اكتشافه في غضار بورجس الصفيحي كَمَثَلِ محامٍ ذي إيمان مطلق ببراءة موكله، وقد تعثرت قدمه في أرضية الغرفة المليئة بأدلة الاتهام! بتجميعه للأنماط الجسدية المتباينة في الشعب الموجودة حاليًّا، إضافة إلى ذكائه الحادّ الذي تجلَّى في فرضية الأحافير المخادعة، وَجدَ والكوت طريقةً مذهلة ليفسر كل الأدلة الواقفة ضده بذات الأسلوب الدارويني.

أشارَ غولد أثناء دفاعه عن تجاوز والكوت النظر في السمات المهمة لأحافير بورجس إلى أن المتطلبات الإدارية المتعددة والمتنامية لم تترك للرجل الوقت الكافي ليعود مرة أخرى إلى التصانيف الحيوانية التأسيسية. لكن إلى أي درجة لم يملك والكوت الوقت الكافي ليعود إلى الافتراضات الأساسية الأهم مرة أخرى، وماذا عن ذلك الافتراض القائل بأن الحيوانات تنشأ متدرجة وفق السبيل الداروينية، كنتيجة للانتخاب الطبيعي العامل عبر التغيرات الصغيرة المتراكمة؟ سينظر إلى هذا الاحتمال بعين الاعتبار بعد عدة عقود؛ فقط بعد أن يدمِّر نموذج والكوت لفرضية الأحافير المخادعة نفسه بنفسه.

الفصل الثالث

أجسام رخوة وحقائق قاسية

أجسام رخوة وحقائق قاسية

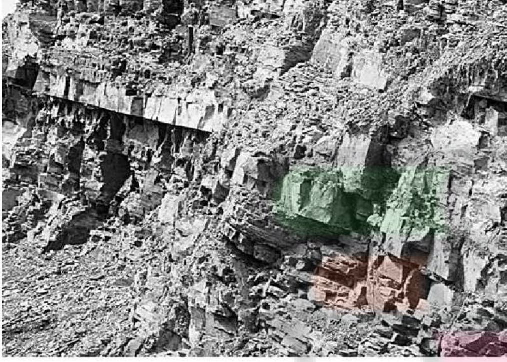
رَعَى معهدُ ديسكفري –حيث أمارس بحثي العلمي– محاضرةً في قسم الجيولوجيا من جامعة واشنطن في ربيع عام ٢٠٠٠، ألقاها عالم الأحياء المشهور جي. واي. تشين J. Y. Chen (انظر الشكل ٣–١)، وقد ارتفعت مكانته في ذلك الوقت بين الوسط العلمي نتيجة لدوره في التنقيب عن اِكتِشافٍ جديد متعلق بالحقبة الكامبرية في جنوب الصين، إذ أزال الاكتشاف قرب قرية تشينغ جيانغ في مقاطعة كونمينغ اللثامَ عن كنز دفين من أشكال حيوانات العصر الكامبري المُبكر، وازداد الاهتمامُ بهذه الأحافير بعد كتابة موضوع الغلاف في مجلة التايم عن الاكتشاف في تشينغ جيانغ في عام ١٩٩٥. تحدَّث المقال عن الانفجار الكامبري[١]، وكان الأستاذ تشين قد نَشرَ قبل وصوله إلى سياتل العديد من الأوراق العلمية عن غزارة أشكال الحياة الجديدة، ورسَّخ نفسه خبيرًا من الخبراء الرئيسيين في هذا المجال الجيولوجي الفريد.

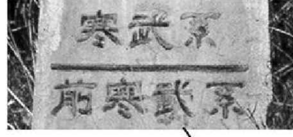
ليس مفاجئًا أن تولِّدَ زيارة تشين اهتمامًا كبيرًا عند إدارة جامعة واشنطن؛ فقد جاء حاملًا معه صورًا وعيناتٍ آسرة عن أقدم الأحافير الكامبرية في العالم، والمتقنة الحفظ، من مكان غريب في النصف الآخر من الكرة الأرضية، وهو موقع يَمتازُ على الغضار الصفيحي الأسطوري في بورجس بأنَّه موقعٌ أكثرَ شمولًا وأهمية بخصوص تفاصيل الحقبة الكامبرية.

أثبتت الأحافيرُ الموجودة في الغضار الصفيحي في ماوتيانشان قرب تشينغ جيانغ (انظر الشكل ٣-٢) وجودَ تنوُّع أوسع في خطط الأجسام الكامبرية ضمن طبقة أقدَمُ عمرًا من الصخرة الكامبرية الموجودة في بورجس، وتتمتَّعُ أيضًا بالدقة نفسها في التفاصيل. ساعدت الأحافير الصينية أيضًا في إثبات أن ظهور الحيوانات الكامبرية حصل بشكلٍ انفجاري بصورة أعمق مما كنا نظنه سابقا.



الشكل (٣-١): جي. واي. تشين.







الشكل (٣-٢): الشكل (٣-٢)a: (يسار) يظهر غضار ماوتيانشان الصفيحي. بإذن من Illustra Media. الشكل (٣-٢)b وc: (الوسط واليمين) يظهران علامات الحدود الكامبرية -وما قبل كامبرية- في موقع ماوتيانشان. بإذن من Paul Chien.

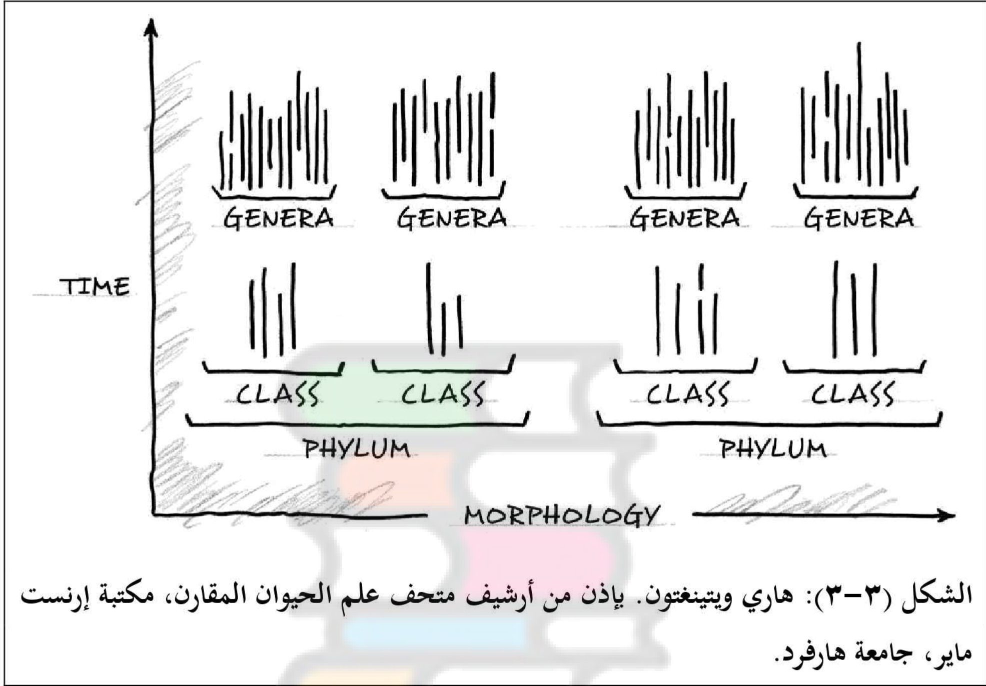
ولذلك لا يوجد أدنى شك في أهمية المكتشفات التي جاء تشين لِيُحاضر عنها في ذلك اليوم، لكن الأمر الذي وضع تشين موضعَ الشكِّ هو معتقده العلمي، فأثناء عرضه للنتائج ركز على التعارضات الواضحة بين دليل الأحافير الصينية والمعتقد الداروني التقليدي؛ نتيجة لذلك سأله أحد الأساتذة الموجودين بين الجمهور -وكأنَّه يسأله بحذر- إن لم يكن قلقًا من التصريح بشكوكه في الداروينية بحرية، وخاصة مع سمعة الصين بقمع الآراء المعارضة، فأذكر أن تشين ابتسم ساخرًا وهو يُجيب: "يمكننا في الصين انتقاد داروين ولا يمكننا انتقاد الحكومة، أما في أمريكا فيمكنكم انتقاد الحكومة وليس داروين".

على الرغم من ذلك فإنَّ أولئك الموجودين في المحاضرة علموا أنَّ لدى البروفيسور تشين الأسباب الكافية ليُشكِّك في تصوُّر داروين عن تاريخ الحياة، وقد وضَّح تشين أنَّ الأحافير الصينية قد قلبت شجرة الحياة التي وضعها داروين رأسًا على عقب، كما أنَّها ألقت بظلالٍ من الشكِّ على النسخة المتبقية من فرضية تشارلز والكوت التي تشكل دعامة أساسية في الداروينية المتدرِّجة.

العودة إلى بورجس

عندما أَنهَى تشارلز والكوت تنقيبه الأخير في غضار بورجس الصفائحي عام ١٩١٧ كان قد جمع مع فريقه أكثر من ٦٥٠٠٠ عينة أحفورية، ثم شحنها كلها إلى متحف التاريخ الطبيعي في معهد سميثسونيان من أجل تصنيفها، وفي عام ١٩٣٠ بدأ عالم أحياء أمريكي آخر –الأستاذ في هارفارد بيرسي رايموند– رحلة بحث أخرى في بورجس، وخُزنت عيناته في نهاية الأمر في الولايات المتحدة.

ونتيجة هذه الحفريات التي قادها أمريكيون لا توجد أية مجموعة من الأحافير تعرض للعموم في كندا، مما جعل العديد من العلماء الكنديين يعتبرون ذلك أمرًا محرجًا على المستوى الوطني، لذا فوضت إدارة المساحة الجيولوجية الكندية في ستينيات القرن الماضي فريقًا بريطانيًّا ليتابع الحفر في مقلع والكوت، من أجل "إعادة غضار بورجس الصفائحي إلى موطنه"، بإبقاء معظم الحفريات المكتشفة للعرض الدائم في كندا.[٢] قادَ هذا الفريق عالمُ الأحياء هاري ويتينغتون (الشكل ٣–٣) من جامعة كمبردج، وساعده اثنان من طلابه المتخرجين، هما سيمون كونواي موريس وديريك بريغز، والَّذين سيَعتبران أنفسهما فيما بعد خبيرين عالميين مشهورين مختصين بغضار بورجس الصفائحي.



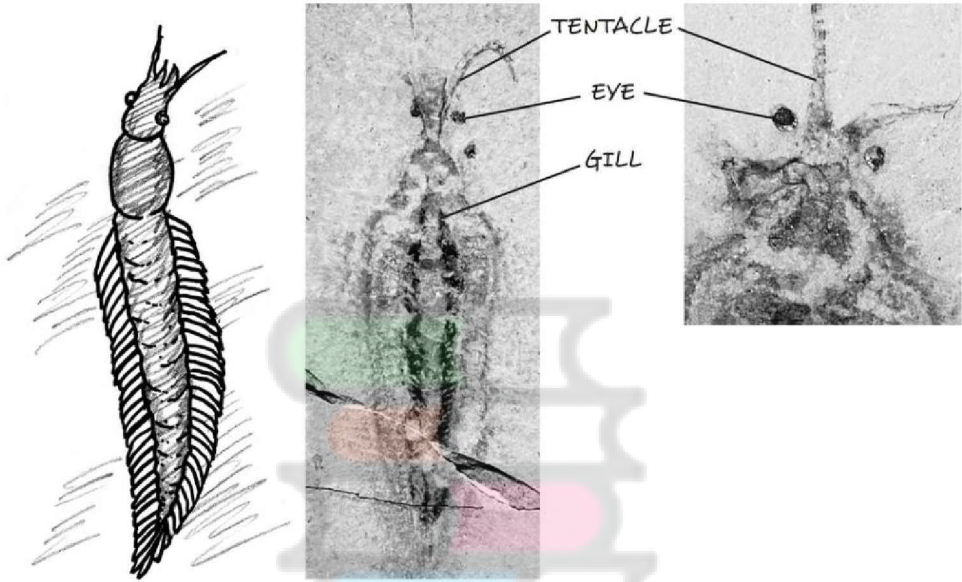
الشكل (٣-٣): هاري ويتينغتون. بإذن من أرشيف متحف علم الحيوان المقارن، مكتبة إرنست ماير، جامعة هارفرد.

عندما حلَّلَ ويتينغتون حيوانات الحقبة الكامبرية في بورجس أدرك أنَّ والكوت قد قلَّل كثيرًا من درجة التباين الشكلي لهذه المجموعة من الحيوانات، إذ يَمتَلِكُ العديدُ من أفرادها خططًا جسدية أو بُنى تشريحية فريدة أو كلاهما[٣]، لقد كانت أوبينيا Opabinia –بعيونها الخمسة وحلقات جسمها الخمس عشرة المتمايزة والمخلب في نهاية خرطومها– مثالًا على الأشكال الفريدة الموجودة في بورجس، وكذلك كانت الهلوسيات Hallucigenia وWiwaxia وNectocaris وكثير غيرها من حيوانات بورجس. وحتى هذا اليوم لم يتمكَّن العلماءُ الذين يصفون الNectocaris من حسم أمرها فيما إن كانت تشبه المفصليات أم الحبليات chordate، أم رأسيات الأرجل cephalopod –صنف من الرخويات– (الشكل ٣-٤).

وَجدَ ويتينغتون أن تصنيف مثل هذه الأشكال في فئات تصنيفية موجودة سلفًا –حتى إن كانت من الفئات العليا مثل الصنف والشعبة– سيرهق حدود هذه التصنيفات، بل إن تلك الأشكال التي تقبل الإدراج بسهولة في إحدى هذه الشعب ستنعزل متفردة بوضوح ضمن (تحت شعبة) أو ضمن (صنف). على سبيل المثال، يملك كل من الAnomalocaris[١] والMarrella هيكلًا صلبًا، ويُمثلان بوضوح المفصليات أو ما يشابهها، لكن كلا الحيوانين يملكان أعضاء تشريحية مميزة، وتشكل مثالًا على الطرق المختلفة لتنظيم هذه الأعضاء، ولذلك فهما يتميزان بوضوح عن المفصليات المعروفة سابقًا كثلاثيات الفصوص التي تشكل المادة الخام للدراسات الإحيائية الكامبرية.

فَهِمَ ويتينغتون –الخبير بثلاثيات الفصوص– هذا الأمر تمامًا، ونَشَرَ في عام ١٩٧١ أولى مراجعاته التصنيفية الشاملة لكائنات بورجس، واستقل بمراجعته تمامًا عن محاولة والكوت السابقة لتجميع كل الأشكال الكامبرية في عددٍ قليل من الفئات التصنيفية الموجودة سابقا.

(١) ترجمته الحرفية: القريدس غير الطبيعي.



الشكل (٣–٤): أعيد نشره بإذن من .Macmillan Publishers Ltd: من مجلة الطبيعة Nature، Martin R. Smith و Jean-Bernard Caron، "رأسيات الأرجل البدائية ذات النسج الرخوة من العصر الكامبري": مجلة Nature، 465 (27 أيار ٢٠١٠): 469– 72. حقوق النسخ محفوظة 2010. (٣–٤)a: (يسار) رسمة فنان لأحفورة Nectocaris. (٣–٤)b: (وسط ويمين) صورة لأحفورة Nectocaris.

وبفعله ذلك أكَّد على التباين الشكلي بين الحيوانات الموجودة في بورجس، وحَرَمَ علماء الأحياء التطورية من أحد جزئي استراتيجية والكوت المزدوجة، والمتبعة لتقليل حجم المشكلة الكامبرية، عن طريق تجميع كل حيوانات بورجس في شعب وصنوف موجودة، فقلَّل والكوت على ما يبدو من مشكلة التباين بتخفيض عدد الشعب الجديدة التي تصل بين الأشكال الوسيطة. وعن طريق التعرف بدقة على التباين في مكتشفات بورجس فإنَّ ويتينغتون قد حَذفَ جزئيًّا حلَّ والكوت للغز الكامبري، وركَّز على ما سيصبح مشكلته المركزية غير المحلولة: أصل الأشكال البيولوجية الجديدة.

سبر أعماق المحيط

رغم رفض ويتينغتون ومن بعده غولد محاولةَ والكوت السابقة لحشر كل حيوانات بورجس في فئات تصنيفية موجودة مسبقا، إلا أنَّ معظمَ علماءِ الأحياء الآن يَرفضون أيضًا تصنيف ستفن جي غولد للعديد من كائنات الغضار الصفائحي في بورجس؛ لاستهجان عدم إِئتلافه مع أي من المجموعات التصنيفية الحديثة.[٤] كما يميز معظم علماء الأحافير هؤلاء عددًا أقل من الشعب التي ظهرت في العصر الكامبري، مقارنة بما ميزه غولد، وربما يميزون نفس العدد من الشعب الذي أقرَّه والكوت. كما ناقشنا في الفصل السابق؛ ما زال علماءُ الأحافير الآخرون يُفضِّلون مقاربة التصنيف "غير المعتمد على الرتب".

وبغض النظر عن ذلك فإنَّ معظمَ علماءِ الأحافير يُدركون أنَّ غضار بورجس الصفيحي يَشهَدُ على غزارة الأشكال الحيوانية الجديدة، متضمنة العديد من البُنى التشريحية وتنسيقات ترتيب أجزاء الجسم، وهكذا كيفما اختلفت الآراء حول كيفية تصنيف هذه الحيوانات، فيمكن لأي طفل بعمر خمس سنوات أن يميِّزَ بعضها عن البعض الآخر وعن كل أشكال الحياة المعروفة مسبقًا، لكن أصلها يحتاج إلى تفسير، هكذا وكما ذكرنا من قبل فإن قيام والكوت بحشر كل الأنواع في الشعب الموجودة لم يحل اللغز الكامبري.[٥]

ولكن ماذا عن القسم الآخر من اقتراح والكوت بخصوص فرضية الأحافير المخادعة؟ لتقييم هذه الفرضية ابتكر والكوت اختبارًا حاسمًا وأكثر موضوعية، ولنتذكر أن والكوت قال بأنَّ غياب طلائع أسلاف الحيوانات الكامبرية من سجل أحافير العصر ما قبل الكامبري كان بسبب تقدم وتراجع البحار، كما افترض وجود

فترة جيولوجية تطوَّرت فيها أسلاف حيوانات العصر الكامبري بعيدًا عن الشاطئ في محيط حقبة ما قبل الكامبري وترسَّبت فقط في طبقات الصخور الرسوبية البحرية، وحسب هذه الفرضية، عندما طغى المحيط وأغرق كل القارة حُفظت بقايا حيوانات البحر الكامبري في رواسب توجد الآن فوق مستوى البحر.

افترض والكوت بعبقرية هذا السيناريو الجيولوجي، لكن لم يكن ممكنًا اختباره وقتئذ، ومع تطور تقنيات الحفر البحري في الأربعينيات والخمسينيات والستينيات، بدأت شركات النفط الحفر مخترقة آلاف الأقدام من الصخور الرسوبية البحرية[٦]، ولمَّا أتى خبراء الجيولوجيا لتقييم مخلفات الحفر لم يجدوا متحجرات والكوت الأحفورية ما قبل الكامبرية كما كان متوقعًا، بل ظَهرت في المقابل مشكلة أكثر جوهرية أمام الفرضية، ففي الوقت الذي افترض فيه والكوت فرضية الخداع اعتبر الجيولوجيون الصفائح المحيطية والقارية مستقرة ومثبتة مع بعضها، وعُزي ظهور الجبال وتناقصها والعمليات الجيولوجية الأخرى إلى تغيرات في مستويات البحار على مستوى العالم، وتكدُّس الرواسب في منخفضات تسمَّى (الطيات المقعرة geosynclines)، وارتفاع كمياتٍ من الصخور البركانية عبر قشرة الأرض أو حتى الأرض المتقلصة.[٧]

لم يكن مطروحًا بعد فكرة حركة الصفائح القارية الضخمة الصلبة وتبادل مواقعها فيما بينها عبر عمليات الصفائح التكتونية بنزول صفيحة تحت أخرى Subduction وتمدُّد قاع البحر، ولكن نظرية الصفائح التكتونية تؤكد الآن على أن المادة القشرية للمحيطات تغطس في داخل الأرض وتذوب من جديد، وبعد ذوبان صخور السطح بهذه الطريقة فإنَّها تُشَكِّلُ مصدرًا جديدًا للحمم المنصهرة، فتنبع في النهاية الحمم من مواقع أخرى عميقة من الأرض، عبر أخاديد المحيط، لتشكل

صخورًا بركانية جديدة في عملية تسمَّى تمدد قاع البحار، وتبعًا لذلك فإن هنالك (دورة حياة) محدودة على سطح الأرض لأي رسابة محيطية توضعت فوق قشرة المحيط البركانية، ففي النهاية تتصادم هذه الصخور الرسوبية مع الحافة القارية أو تغطس عميقًا في قشرة الأرض العليا وتذوب لتشكل الحمم.

نتيجة لهذه الدورة فإن العمر الأقصى لأي رسابة محيطية محدود جدًا، وتبعًا للتقييمات الحديثة فإنَّ أقدَمَ قِسمٌ من القشرة المحيطية وجد فقط منذ العصر الجوراسي[8] -١٨٠ مليون سنة-، وهو حديث جدًا ليحوي أسلاف ثلاثيات الفصوص. بمجرد ظهور الدليل من الصفائح التكتونية نبذ العلماء فرضية والكوت في الأحافير المخادعة والفترة المخفية على أنَّها أفكارٌ فاشلة، ولا يتوقَّعُ علماءُ الأحافير اليوم إيجاد أي أسلاف قبل كامبرية لثلاثيات الفصوص في الرواسب البحرية لأنَّهم أدركوا عدم وجود أي رواسب ما قبل كامبرية في أحواض المحيطات، وإن كانت هناك طبقات ما قبل كامبرية يمكن إيجادها في أي مكان فلا بد أن توجد في القارات.

نسخ أخرى من فرضية الأحافير المخادعة

رغم فشل أطروحات والكوت لشرح غياب أحافير أسلاف الحيوانات الكامبرية، إلا أنَّ النسخ الأخرى من هذه الفرضية تابعت الانتشار، وبدأت هذه الطروحات تأخذ شكلين أساسيين، حيث ادَّعى بعض العلماء -ولأسباب مختلفة- أنَّ أحافير الأسلاف ما قبل الكامبرية المتوقَّعة لمّا تُوجَدْ بعد (هذه الأحافير مفقودة نتيجة لعدم اكتمال عينات السجل الأحفوري)، في حين اقترح آخرون أنَّ الصخور الرسوبية ما قبل الكامبرية لم تَحفَظ الأحافير الناقصة من السجل، وأنَّ عدم الحفظ

الكامل للحيوانات ما قبل الكامبرية يَعني أنَّ الأحافيرَ المفقودة ليست هناك –من الأصل– ليتم إيجادها.

رفض والكوت الفكرة القائلة بأنَّ علماء الأحافير لم يبحثوا (أو لم يأخذوا عينات من المواقع) كفايةً، ولاحظ أنَّ الجيولوجيين قد تَفحَّصوا بدقةٍ شديدة "السلاسل الضخمة من الطبقات الكامبرية وما قبل الكامبرية في شرق أمريكا الشمالية"، ورغم أنَّهم بحثوا "من ألاباما إلى لابرادور في غرب أمريكا الشمالية، ومن نيفادا وكاليفورنيا حتى ألبيرتا وكولومبيا البريطانية، وكذلك الأمرُ في الصين"، فإنَّ تقصياتهم لَمْ تَعُدْ بشيء يُمكن ذكره.[٩] ومن وجهة نظر والكوت فإنَّ القارات ببساطة لم تَحفَظ البقايا الأحفورية لأسلاف كائنات العصر الكامبري.

وذهبَ بعضُ الجيولوجيين قبل والكوت أبعَدَ من ذلك، فاقترحوا أنَّ كل الصخور الرسوبية ما قبل الكامبرية تدمَّرت نتيجة ظروفٍ شديدةٍ من الحرارة والضغط، في عملية تسمَّى (تغير الشكل العالمي universal metamorphism)، وقد رفض والكوت هذه الفرضية لأنَّه تَعاملَ بنفسه مع "سلاسل عظيمة من الصخور الرسوبية ما قبل الكامبرية في القارة الأمريكية الشمالية" من بين أماكن أخرى. اقترح جيولوجيون آخرون أنَّ ظهور دفقات من الابتكارات التطوُّرية يأتي فقط في فترات يتوقف فيها التشكل الرسوبي، لذلك يوجد من جديد نقصٌ في حفظ الأحافير، لكن –وكما علق غولد على فرضية والكوت الخادعة– هذا التفسير بدا للعلماء "متكلَّفًا، خاصة وأنَّه ناتِجٌ عن الإحباط وليس عن متعة الاستكشاف".[١٠]

النسخ الحديثة من فرضية الأحافير المخادعة: إمّا رخوةٌ جدًا أو متناهية الصغر

بعد الإطاحة بفكرة (تغير الشكل العالمي) اِفتَرَض بعضُ علماء الأحياء نسخًا أبسط وأكثر معقولية من فرضية الأحافير المخادعة، فادَّعوا أنَّ الأشكال الوسيطة المفترضة التي أدَّت إلى الحيوانات الكامبرية ربما كانت متناهية الصغر أو رخوة جدًا أو كلا الأمرين معا، لذلك لم تُحفظْ في السجل.

يَقتَرِحُ البيولوجي التطوري من معهد كاليفورنيا للتقنية إريك ديفيدسون أن الأشكال الانتقالية التي أدَّت إلى الحيوانات الكامبرية كانت "أشكالًا مجهرية تشبه اليرقات البحرية الموجودة الآن"، وهكذا فقد كانت أصغر من أن تُحفظ كأحافير يُعتمد عليها.[١١] واقترح علماء تطوريون آخرون مثل جورجي وراي وجيفري ليفنتون وليو شابيرو أنَّ أسلاف الحيوانات الكامبرية لم تُحفظ لأنَّها كانت تَفتقرُ للأجزاء الصلبة مثل الصدفات والهياكل الخارجية[١٢]، وجادلوا بأنَّ الحيوانات ذات الأجسام الرخوة لا تُشكِّلُ أحافير إلا بصعوبة، وعلينا ألا نتوقَّع وجودَ بقايا من أسلاف الحيوانات الكامبرية المفترضة ذات الأجسام الرخوة في سجل الأحافير في فترة ما قبل الكامبري. يلخِّصُ عالمُ الأحافير في جامعة كاليفورنيا (بيركلي تشارلز آر مارشال) هذه التفسيرات: "إنَّه لمن المهم أن نَتذكرَ أنَّنا نرى الانفجار الكامبري عبر نوافذ تسمح بها الأحافير والسجلات الجيولوجية، لذلك عندما نتكلم عن الانفجار الكامبري فإنَّنا نشير نمطيًّا إلى ظهور أشكالٍ ذات جسم كبير، يُمكِنُ رؤيتها بالعين المجردة وقابلة للحفظ؛ لأنَّها ذوات هياكل... إن كانت السلالات السالفة صغيرة ولا تَملِكُ هيكلًا فلن نَتوقَّعَ أن نراها في سجل الأحافير".[١٣]

رغم أنَّ هذا الكلام معقول بَدَاهَةً، إلا أنَّ ظهور عدة اكتشافات يُشكِّكُ في هاتين النسختين من فرضية الأحافير المخادعة، فبالنسبة لفكرة أن أسلاف الحيوانات الكامبرية كانت أصغر بكثيرٍ من أن تُحفظ، فقد عرف علماء الأحافير منذ زمن أنَّ خلايا من كائنات تُشبه الخيط –السيانوبكتريا على الأرجح– قد حُفظت في الصخور ما قبل الكامبرية القديمة. سجَّلَ عالمُ الأحافير جي وليامز سكوبف من جامعة (كاليفورنيا–لوس أنجلوس) وجودَ عينةٍ قديمة جدًا من هذه الأحافير في مجموعة طبقات واراوونا Warrawoona في غرب أستراليا، وهذه السيانوبكتريا المتحجرة محفوظة في صخور الشرت الصوانية cherts، وهي صخورٌ رسوبية مكوَّنة من كريستالات مجهرية، تكونت منذ ٣.٤٦٥ مليار عام.[١٤] في نفس هذه الطبقات حُفظت الحصيرة الميكروبية microbial mats في الستروماتولايت، وهي بُنى عضوية تنمو بالتكاثر التمايزي accretionary growth، تُشيرُ عادةً إلى وجود البكتريا في رسوبيات صخور الدولومايت الأقدم والتي تبلغ ٣.٤٥ مليار عام (انظر الشكل ٣–٥).[١٥]




الشكل (٣–٥): الشكل (٣–٥)a: صور لستروماتولايت أحفوري من العصر الكامبري. بإذن من مستخدم Wikimedia Commons: Rygel, M. C.. الشكل (٣–٥)b: بنى متناوبة من طبقات خشنة وناعمة من أحافير الستروماتولايت الكامبري والظاهرة في المقطع العرضي. بإذن من جمعية نحو التقدم العلمي. الشكل B٢، Hoffman, P.، "ستروماتولايت طحلبي: من مقال ارتباط توزع الطبقات وتحديد التيارات القديمة Stratigraphic Correlation and Paleocurrent Determination"، مجلة العلم Science، 157(١ أيلول ١٩٦٧): ١٠٤٣–٤٥. أعيد طبعها بإذن من AAAS.

تَطرحُ هذه الاكتشافات مشكلةً أمام فكرة أنَّ الأسلاف الكامبرية كانت أصغرَ بكثيرٍ من أن تُحفظ في السجل الأحفوري، إذ أنَّ هذه الصخور الرسوبية حَفظت السيانوبكتريا والطحالب وحيدة الخلية على شكل أحافير وهي أقدمُ بكثيرٍ، والأحرى بها أن تُدمَّر بفعل الصفائح البنائية أكثر من تلك الصخور الرسوبية التالية التي كان يفترض أن تحفظ الأسلاف القريبة للحيوانات الكامبرية، ولكن هذه الصخور والأحافير التي تحويها بقيت بحالةٍ جيدة حتى الآن، فإن كان عالمُ الأحافير قادرًا على إيجاد أحافير لخلايا صغيرة في التشكيلات الأقدم والأكثر ندرة، أفلا يُفترضُ بهم أن يستطيعوا إيجاد بعض الأشكال السلفية للحيوانات

الكامبرية في صخور رسوبية أقل عمرًا وأكثر توافرًا؟ ولكن على الرغم من ذلك لم يُكتشف من هذه الأسلاف إلا القليل.

هناك أيضًا عدة أسباب لنشكِّكَ في النسخة الثانية من هذه الفرضية –فكرة أنَّ الأسلاف الكامبرية المفترضة كانت رخوةٌ جدًا لا يُمكنُ حفظها.

أولًا: شكَّكَ بعضُ علماءِ الأحافير في إمكانية كون أسلاف الحيوانات الكامبرية القاسية أشكالًا رخوة من الناحية التشريحية[١٦]، فهم يقولون بعدم إمكانية تطوُّر الأجزاء الرخوة في العديد من الحيوانات التي تُمثل شعبًا مثل عضديات الأرجل brachiopods ومفصليات الأرجل arthropods أولًا ومن ثم إضافة الصدفات لاحقًا، إذ أنَّ بقاءها يَعتمدُ على قدرتها في حماية أجزاءها الرخوة من قوى البيئة العدائية. بالمقابل يَقولون يَجبُ أن تَظهرَ الأجزاء القاسية والرخوة معًا[١٧]، وكما أشارَ عالمُ الأحافير جيمس فالنتين من جامعة (كاليفورنيا – بيركلي) في ما يَخصُّ عضديات الأرجل أنَّ: "مخطط جسد brachiopod Bauplan لا يَعملُ دون وجود هيكلٍ قادرٍ على التحمُّلِ"[١٨]، أو كما لاحظ جي واي تشين J. Y. Chen وزميله جوي كينغ زو Gui-Qing Zhou أنَّ: "حيوانات مثل عضديات الأرجل... لا يمكن أن توجد دون هيكل تَدخل في تركيبه العناصر المعدنية، في حين أن مفصليات الأرجل تَحملُ ملحقات متمفصلة مع جسمها، لذا فإنَّها تتطلبُ غطاءً عضويًا صلبًا أو حاويًا على عناصر معدنية".[١٩]

ونظرًا لحاجة هذه الحيوانات إلى أجزاء صلبة افترض تشين وكينغ زو ضرورة أن تكون الأشكال السالفة لهذه الحيوانات محفوظة في مكان ما في سجل الأحافير ما قبل الكامبرية، إذا كانت موجودةً أصلًا، وهكذا فإنَّ عدم وجود أسلاف ذات أجسام صلبة لهذه الحيوانات الكامبرية في الطبقات ما قبل الكامبرية يُبين أنَّ

هذه الحيوانات ظهرت لأوَّل مرة في الفترة الكامبرية. كما يؤكِّدُ كل منهما على أنَّ "غياب مثل هذه الأحافير من الطبقات ما قبل الكامبرية تُثبتُ أنَّ هذه الكائنات ظهرت في العصر الكامبري".[٢٠]

تَجدرُ الإشارة إلى أنَّ هذه الحجة لا تَنطبِقُ على كل مجموعات الحيوانات الكامبرية، وفي نظري لا تُمثِّلُ "إثباتًا" بأي حال من الأحوال، فالعديد من الشعب الكامبرية –ومن بينها شعب تحوي حيوانات لها قشرة صلبة مثل الرخويات وشائكات الجلد– تحوي حيوانات ذات أجسام رخوة، فالرخويات والKimberella الأقدم على سبيل المثال كان ينقصهما الصدفة الخارجية الصلبة "على الرغم من أنَّ لها أقسامًا صلبة أخرى".[٢١] وهكذا من الواضح أنَّ بعضَ المجموعات الكامبرية ذات الصدفة الصلبة قد يكون لها أسلاف ذات أجسام رخوة.

من الممكن أيضًا افتراض وجود سلف لا يملك قشرة صلبة لعضديات الأرجل أو لمفصليات الأرجل، خصوصًا الأسلاف البعيدة جدًا، وقد افتُرض أيضًا أنَّ ديدان فيلفت onychophorans ذات الأجسام الرخوة هي أسلاف مفصليات الأرجل رغم أنَّ الدراسات الحديثة تُعارض ذلك، فقد ظَهرت ديدان فيلفت نفسها بعد مفصليات الأرجل في السجل الأحفوري، كما أنَّ التحليل السلالي يَقترحُ أنَّ ديدان فيلفت رُبما كانت مجموعة شقيقة (أكثر من كونها سلفًا) لمفصليات الأرجل.[٢٢] مع ذلك يصعب دحْض الدليل السلبي: وبالتحديد إسقاط كل إمكانية لوجود سلف مشترك ذي جسم رخو لكل من مفصليات الأرجل وعضديات الأرجل في العصر ما قبل الكامبري.

على الرغم من ذلك يَبدو من غير المرجح –من وجهة نظر داروينية عن تاريخ الحياة– أن تَكونَ كل أسلاف مفصليات الأرجل أو عضديات الأرجل الكامبرية (وخصوصًا الأسلاف الأقرب لهذه الحيوانات) وجدت دون أجزاء صلبة تمامًا، وهنالك العديد من أنواع مفصليات الأرجل التي ظَهَرَت فجأةً في العصر الكامبري مثل: (ثلاثيات الفصوص trilobites وMarrella وFuxianhuia protensa وWaptia والقريدس غير الطبيعي Anomalocaris). وكلّها ذات غلاف خارجي صلب أو أجزاء صلبة، إضافة إلى ذلك فإنَّ المجموعة الوحيدة المعروفة من مفصليات الأرجل والتي ليس لها غلاف خارجي صلب (الخمساء pentastomids) لها علاقة تطفل مع مفصليات الأرجل الأخرى التي تَملِكُ غلافًا خارجيًا صلبًا.[٢٣] وهكذا يَبدو من المرجَّح أنَّ بعضَ الأسلاف القريبة للعديد من مفصليات الأرجل التي ظَهرت في العصر الكامبري لا بد لها أن تَترُكَ على الأقل بعض الآثار البدائية لوجود الغلاف الخارجي في سجل أحافير ما قبل الكامبري، إن وجدت أصلًا مفصليات أرجل كهذه في عصر ما قبل الكامبري أو كانت قد تدرَّجت في الظهور بالطريقة الداروينية.

زيادة على ذلك فإنَّ هيكلَ مفصليات الأرجل يُشكِّلُ جزءًا من الجهاز التشريحي المتداخل بشدة، إذ توجد عضلات محددة وأنسجة وأوتارًا وأعضاء حسية، وبنية وسيطة خاصة بين النسيج الرخو للحيوان والهيكل الخارجي المسمَّى نظام الـendophragmal، تتضافر كلها مع بعضها البعض لدعم عملية الانسلاخ ونمو الهيكل الخارجي والمحافظة عليه، ما يتكامل مع أسلوب مفصليات الأرجل في الحياة. وأفضل سيناريو دارويني لتفسير أصل مثل هذا النظام سيكون (التطور المشترك co-evolution) لـ(تحت أجهزة) منفصلة تشريحيًا بطريقةٍ متناسقة، فتقدَّم

بعض تحت الأجهزة التشريحية هذه ميزات وظيفية للحيوان عن طريق دَعمِ وتطوير ونمو الهيكل الخارجي والحفاظ عليه، والعكس بالعكس، مما يعرض الأجهزة الأخرى للضرر نتيجة غياب الهيكل الخارجي، لذا فمن غير السرجح على ما يبدو أن تكون تحت الأجهزة هذه والمعتمدة على بعضها قد تطوَّرت مستقلة أولًا دون هيكل خارجي، ومن ثم حصلت عليه فجأة كنوع من الزخارف فوق نظام متكامل من الأجزاء الرخوة في نهاية عملية تطورية طويلة.

من المعقول توقُّع وجود بعضِ البقايا الأوَّلية من الأجزاء الصلبة لمفصليات الأرجل والتي قد تكون محفوظة في العصر ما قبل الكامبري، لو عاشت مفصليات الأرجل في ذلك الزمن، لكنَّنا لَمْ نَجِدْ مثل هذه البقايا المجهولة من مفصليات الأرجل وعضديات الأرجل الكامبرية في السجل الأحفوري، الذي من المفترض أنَّه يرجَّح فيه الاحتفاظ بالأجزاء الصلبة، ولهذا نجد الأمر غريبًا على أقل تقدير. من الواضح أنَّ ذلك يَدعمُ إصرار بعض علماء الأحافير الكامبرية أمثال تشين و زو، الّذين اعتبرا غياب كل الأجزاء الصلبة في السجل ما قبل الكامبري دليلًا على عدم وجود هذه المجموعات التي تعتمد على الأجزاء الصلبة أصلًا.

على أية حال، يجب على مؤيدي فرضية الأحافير المخادعة تفسير الانفجار الكامبري لأجزاء الجسم الصلبة، إن لم يكن تفسير كل الحيوانات الكامبرية، وكما أشار عالمُ الأحافير جورج غايلورد سمبسون عام ١٩٨٣: واقعيًا لم تحفظ أسلاف ما قبل الكامبري لأنَّها تَفتقرُ إلى أجزاءٍ صلبةٍ، لكن "مايزال هناك لغز يجب التفكر فيه؛ لماذا وكيف بدأت هذه الحيوانات بامتلاك أجزاء صلبة –الهياكل الخارجية لكل نوع–، إن ذلك ليبدو مفاجئًا في بداية العصر الكامبري".[٢٤]

كما توجد عقبة إضافية مخيفة أكثر لهذه النُّسخة من فرضية الأحافير المخادعة، إذ أنَّ سجل الأحافير عمومًا لا يَحتفظُ بالأجزاء الرخوة كاحتفاظه بالأجزاء الصلبة، إلا أنَّه قد حَفظَ العديد من الحيوانات ذات الأجسام الرخوة والأعضاء والبُنى التشريحية الرخوة من الفترتين الكامبرية وما قبل الكامبرية.

كما رأينا سابقًا فإنَّ الصخورَ الرسوبية ما قبل الكامبرية في عدة أماكن حول العالم قد حَفَظَت الطحالب الخضراء المزرقة على شكلِ أحافير مستعمرات، وكذلك الطحالب وحيدة الخلية والخلايا ذات النوى (حقيقيات النوى).[٢٥] هذه الكائنات المجهرية ليست صغيرة فحسب، لكنَّها لا تحوي أجزاءً صلبة أيضا. هناك صِنفٌ آخر من كائنات عصر ما قبل الكامبري الحديث تسمَّى بكائنات العصر الفندي Vendian أو العصر الإيديكاري Ediacaran، حوت الآثار الأحفورية للعديد من الكائنات ذات الأجسام الرخوة متضمِّنة العديد من الأشنيات والطحالب ووحيدات الخلية، وقد حَفَظَت طبقات الفترة الكامبرية نفسها العديد من الكائنات والبُنى ذات الأجسام الرخوة، فقد حفظ غضار بورجس الصفائحي خصوصًا الأجزاء الرخوة للعديد من الحيوانات الكامبرية ذات الأجسام الصلبة مثل الـ Marrella splendens[٢٦] وWiwaxia[٢٧] والقريدس غير الطبيعي Anomalocaris، كما أنَّ غضار بورجس يوثِّقُ بشكلٍ كامل أمثلة عن عدة شعب من ذوي الأجسام الرخوة أمثال:

- شعبة القراصات Cnidaria، ممثلة بحيوان يُدعى الـThaumaptilon، وهو كائنٌ مستعمراتي يُشبه شكل الريشة، مكوَّن من حيوانات طرية شبيهة بشقائق البحر.[٢٩]

• شعبة الديدان العلقية Annelida، ممثلة بـ polychaete worms Burgessochaeta وCanadia".[30]

• شعبة الـPriapulida، ممثلة بالـOttoia والـLouisella والـSelkirkia، وكل الديدان الحاوية على خراطيم متمايزة.[31]

• شعبة الـCtenophora، ممثلة بالـCtenorhabdotus، وهو حيوان جيلاتيني له جسد نصف شفاف، يُشبه نوعًا من قناديل البحر: الهلام المشطي comb jelly.[32]

• شعبة الـLobopodia، ممثلة بالـAysheaia والهلوسيات Hallucigenia، وهي حيوانات ذات أجسام طرية مقسمة ولها أرجل عديدة.[33]

يَحفظ طين بورجس الصفائحي أيضًا حيوانات ذات أجسام رخوة من أنساب غير معروفة، مثل الـAmiskwia، وهو حيوان جيلاتيني يشبه الفِراش[34]، والـEldonia، وهو حيوانٌ شبيه بقنديل البحر مع بنية أكثر تعقيدًا[35]، والحيوان المذكور سابقًا الـNectocaris صعب التصنيف.[36] كما أشار سيمون كونواي موريس فإنَّ "مجموعات بورجس الموجودة تمثل تقريبًا ٧٠٠٠٠ عينة منها حوالي ٩٥% إما أجسام رخوة أو هياكل رقيقة".[3]

انفجار تشينغ جيانغ

انتهى أيُّ شكٍّ في قدرة الصخور الرسوبية على حفظ أجزاء الأجسام الصغيرة والرخوة عن طريق سلسلة من الاكتشافات الأحفورية في جنوب الصين، والتي بدأت في الثمانينات من القرن الماضي.

ففي حَزيران عام ١٩٨٤ سافَرَ عالمُ الأحياء (زينغ جوانغ هو) إلى كونمينغ في جنوب الصين لينقِّب عن عينات أحفورية من مفصليات الأرجل تُعرف بـbradoriid.[٣٨] كانت المنطقة حول كونمينغ في مقاطعة يونان معروفة بطبقاتها من العصر الكامبري الأدنى وأحافيرها الكامبرية النموذجية، مثل الـbradoriids وثلاثيات الفصوص، الذان حُفظا بسهولةٍ بسبب هياكلهما الصلبة، وفي عام ١٩٨٠ وَجَدَ (هو) العديد من عينات bradoriid في التشكيل الجيولوجي المسمَّى مقطع كيونغ زوسي قرب كونمينغ.

في صيف عام ١٩٨٤ سافر (هو) إلى قرية تشينغ جيانغ للبحث عن الـbradoriids في تشكيل جيولوجي آخر يسمَّى تشكيل Heilinpu، ولم تَلقَ جهوده الكثير من النجاح؛ نتيجة لذلك حوَّل اهتمامه إلى بروز أرضي آخر، وهو تسلسل رسوبي يسمى الآن غضار ماتيان شان الصفائحي. جَهَّزَ فريقُ (هو) عاملِي المزارع لحفر وتعزيل القطع الصخرية الطينية، ويَصِفُ كتابه (أحافير تشينغ جيانغ- الصين الكامبرية) ما حدث لاحقا: "حوالي الساعة الثالثة بعد ظهر يوم الأحد الأول من تمّوز وُجدت طبقة رقيقة بيضاء نصف دائرية في جانب شق، وقد ظننا خطأ أنَّها تمثل صدفة نوع غير معروف من القشريات، عند إدراكنا أنها تمثل عينات لم تُشاهد من قبل استمر تكسير الصخور بسرعة من أجل البحث عن أحافير إضافية، ومع إيجاد عينة أخرى -وهي لحيوان طوله ٤-٥ سم محفوظ مع أطرافه- بدا جليًا أنَّه لم يكن سوى أحد الحيوانات ذات الأجسام الرخوة".[٣٩]

يتذكر (هو) العينات الكامبرية بشكلٍ مفعم بالحيوية: "لأنَّها ظَهَرت وكأنَّها حيَّة على السطح الرطب للطين الصخري"[٤٠]، وبمضاعفة الجهود كَشَفَ الباحثون بسرعةٍ عن البقايا الأحفورية لحيوان ذي جسم رخو تلو آخر، وكانت معظم الأحافير

محفوظة بشكلٍ مسطَّحٍ كطبعات ثنائية البعد للكائنات ثلاثية الأبعاد رغم أنَّ بعضها -كما لاحظ (هو)-: "يَحتَفِظُ بقليلٍ من التضاريس ثلاثية الأبعاد".[٤١] الأكثر أهمية هو أن (هو) يشير إلى أنَّ "بقايا الأنسجة الصلبة مثل أصداف عضديات الأرجل أو أغطية ثلاثيات الفصوص الخارجية محفوظة جيدًا في مجموعة حيوانات تشينغ جيانغ، كذلك الأنسجة الأقل متانة، التي تُفقد عادة خلال عملية التفسخ، محفوظة أيضًا بشكلٍ جميل".[٤٢]

نتيجة للرسوبيات الناعمة جدًا ذات الحبيبات الصغيرة التي ترسَّبت فيها فإنَّ أحافير تشينغ جيانغ قد حَفظت تفاصيل تشريحية بدقةٍ تفوق تلك الموجودة في مجموعة بورجس[٤٣]، كما أنَّ غضار ماوتيانشان الصفائحي قد حَفظ تنوعًا من الأجزاء التشريحية وحيوانات ذات أجسام رخوة أكثر من تلك الموجودة في غضار بورجس. في السنوات التالية وَجَدَ (هو) وزملاؤه جي واي تشين وجوي كينغ زو العديدَ من الأمثلة الممتازة على الحيوانات المحفوظة جيدًا، التي ليس لها حتى هيكل خارجي كيراتيني، ومنها حيواناتٌ ذات أجسام رخوة من شعب مثل القراصات (المرجان وقنديل البحر)، والممشطيات Ctenophora (الهلام المشطي comb jellies)، والعلقيات Annelida -نوع من الديدان الحلقية المفصصة-، وديدان فيلفت Onychophora -ديدان مفصصة لها أرجل-، وPhoronida -لا فقاريات بحرية أنبوبية تتغذَّى عن طريق فلتر-، وPriapulida -نوع آخر مختلف من الديدان- (الشكل ٣-٦).[٤٤]

كما وجدوا أحافيرَ تَحتَفِظُ بالتفاصيل التشريحية للعديد من الأنسجة الرخوة والأعضاء، مثل العيون والأمعاء والأعصاب[٤٥]، كذلك اكتَشَفوا كائنات تُشبه قنديل البحر تسمَّى Eldonia التي تُبَيِّنُ أجزاءَ الجسم الرقيقة والرخوة كأنَّها قنوات مائية

شعاعية، معها حلقات من الأعصاب، في حين أظهَرَت أحافيرُ أخرى محتوى أمعاء العديد من الحيوانات.[٤٦]

أثبَتَت الاكتشافات قرب تشينغ جيانغ بما لا يَدَع أدنى مجال للشكِّ المنطقي أنَّ الصخور الرسوبية قادرةٌ على حِفظِ الأحافير ذات الأجسام الرخوة من العصور القديمة بتفاصيل دقيقة جدًا، وهذا يُعارض فكرة تبرير غياب الأسلاف ما قبل الكامبرية، بسبب عدم حفظ الحيوانات ذات الأجسام الرخوة التي عاشت تلك الفترة في السجل الأحفوري، وفي الوقت نفسه خبأت الصخور الرسوبية قُربَ تشينغ جيانغ مفاجآت أخرى.

الأسرار ما قبل الكامبرية

تَرَكَ بول تشاين Paul Chien –عالمُ الحياة الصيني الأمريكي– الصينَ مع عائلته عندما كان صبيًا، هاربًا من الانقلاب الشيوعي عام ١٩٤٩ على يد ماو تسي تونغ، وبعد إكماله الدكتوراه في الولايات المتحدة أصبح أستاذًا في علم الحياة بجامعة سان فرانسيسكو. علِم تشين للمرة الأولى عن اكتشافات جنوب الصين بعد أن قرأ غلاف مجلة التايم في عام ١٩٩٥، بعد ذلك قرأ أحد الأخبار الواردة في صحيفة الشعب people اليومية –الصحيفة الرسمية للحزب الشيوعي الصيني– التي كَتَبَت بأسلوبٍ ساحرٍ أنَّ بعضَ علماءِ الأحياء الصينيين يعتقدون أنَّ هذه الاكتشافات تتعارض مع وجهة النظر الداروينية عن تاريخ الحياة.

أذهل التنوع الكبير في اللافقاريات البحرية الموجودة في تشينغ جيانغ الأستاذ تشاين وأقنعه بالعودة إلى مسقط رأسه، وبعد قيامه بالرحلة الأولى في صيف عام ١٩٩٦ قابل جي واي تشين. عاد تشاين على مدى عدة فصول صيف مثمرة

بالنتائج ليقومَ بالبحث بنفسه، واستمر هو وجي واي تشين في تشارك مكتشفاتهما ومقارنة ملاحظاتهما.

عند وصوله إلى الصين في عام ١٩٩٨ للصيف الثالث من رحلته البحثية علم تشاين أن تشين قد اِكتَشَف أحفورة لإسفنج بالغ في الصخور ما قبل الكامبرية الحديثة في تشكيل رسوبي يسمَّى Doushantuo Phosphorite(٢)؛ وهو تشكيل يقع أدنى من غضار ماوتيانشان الصفائحي، وعندما فحص العالمان الرسوبيات التي غلفت إسفنج تشين الأحفوري اكتشفا اكتشافًا سيُنهي النسخة الأكثر شعبية من فرضية الأحافير المخادعة.

---

(٢) صخور رسوبية غنية بفوسفات الكالسيوم.

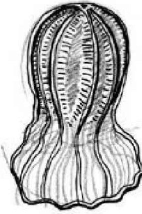




Figure 3.6a: A ciliated comb jelly, from the phylum Ctenophora.

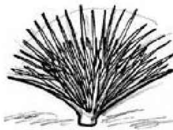




Figure 3.6b: A filter-feeding worm-like member of the phylum Phoronida.

Figure 3.6c: The shrimp-like arthropod, *Waptia.*

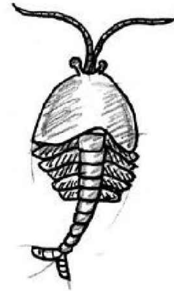




Figure 3.6d: A priapulid worm with its distinctive proboscis.

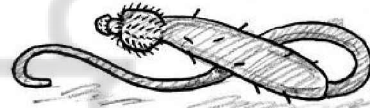




Figure 3.6e: The enigmatic jellyfish-like *Eldonia.*

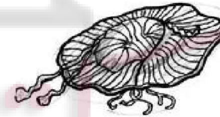
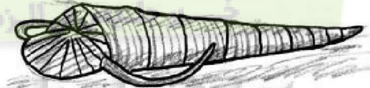




Figure 3.6f: A conical shelled animal from the phylum Hyolitha.





الشكل (٣–٦): أحافير الانفجار الكامبري لحيوانات تشينغ جيانغ، رسوم متخيلة وصور للأحفورات. الصور في (٣–٦): f،e،b،a بإذن من جي واي تشين. الصور d،c بإذن من باول تشاين.

عندما بدأ جي واي تشين فحص الصخور الرسوبية التي غلَّفت إسفنجه الأحفوري قرَّر أن يَنظرَ إليها على شكل شرائح رقيقة تحت المجهر الضوئي. تَساءل تشين فيما إذا كان هناك أشكال جنينية أصغر من هذه الحيوانات ما قبل الكامبرية يُمكن أن تكون حُفظت ضمن صخور الفوسفوريت هذه، فوجد تحت التكبير كُرَات صغيرة ملتفة تعرّف عليها هو وبول تشاين على أنَّها أجنة إسفنج، وفي عام ١٩٩٩ خلال مؤتمر عالمي كبير عن الانفجار الكامبري أقيم بالقرب من تشينغ جيانغ قام جي واي تشين وبول تشاين وثلاثة من زملائهما بعرض مكتشفاتهم.[٤٧]

ناقشهم في البدء عددٌ من علماء الأحافير الصينيين مقترحين أن هذه الكرات الصغيرة الملتفة لم تكن أجنة إسفنج أبدًا، إنَّما كانت بقايا طحالب بنية وخضراء[٤٨]، وهنا ظهرت خبرة تشاين، فقبل ذلك قام تشاين خلال مسيرته المهنية بوضع تقنية لفحص الأجنة في الإسفنج الحي تحت المجهر الإلكتروني الماسح، ثم عدل الآن تقنيته لفحص هذه البنى الأحفورية المجهرية مستخدمًا مجهرًا أقوى، وما وجده أخافه وأذهل العلماء الآخرين.

الإسفنج إبداع الطبيعة الزجاجي؛ فهو مصنوع من شبكة رخوة ومرنة من الخلايا التي يَصدرُ عنها "أشواك" مغطاة بالسيليكا. وعلى الرغم من امتلاك الإسفنج تنوعًا في الأشكال والأحجام إلا أنَّه أحد أبسط الأشكال المعروفة للحيوانات الحية، ويحوي ٦–١٠ أنواع من الخلايا المختلفة[٤٩]، في حين أنَّ مفصليات الأرجل النموذجية تحوي بين ٣٥–٩٠ نوعًا من الخلايا.

عندما فحص بول تشاين الكرات الصغيرة من Doushantuo Phosphorite تحت المجهر الماسح لاحظ ما بدا أنَّه خلايا تمرُّ بمرحلة انقسام،

في البداية لم يكن يَملِكُ طريقةً ليحدد نوع هذه الخلايا، لكنه عندما فحص مقاطع عرضية من هذه الخلايا بشكلٍ أكثر عناية استطاع أن يُحددَ بنية مميزة عرفها من بحثه السابق.

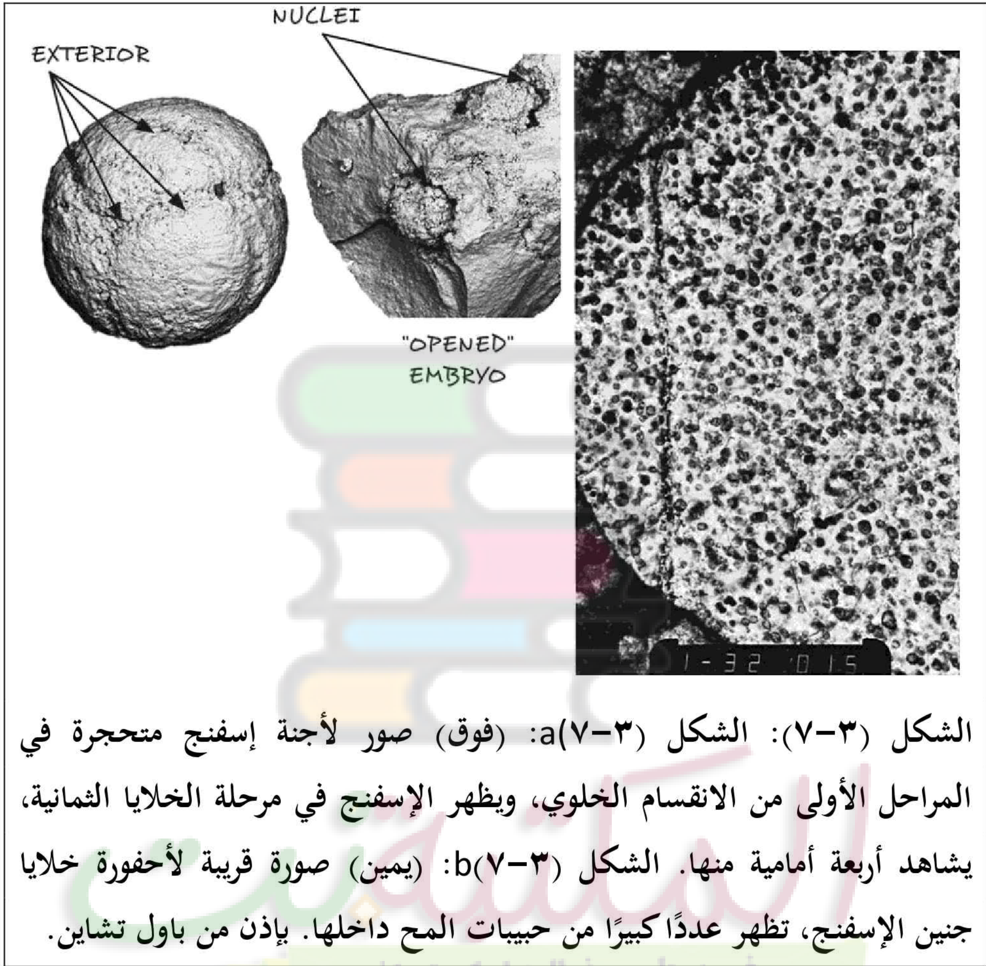
الإسفنج فقط يَملِكُ الأشواكَ، والخلايا الأحفورية التي كان يَفحصها حافظت على أشواك مجهرية في المراحل الأولى المبكرة من تطوُّرها[٥٠]، لذا فمن الواضح أنَّها لم تكن كرات طحلبية، بل كانت أجنة إسفنج. والأكثر دهشة من ذلك أن تشاين استطاع مشاهدة البنية الداخلية لهذه الخلايا الجنينية، مما سَمَحَ له بتمييز نوى بعض هذه الخلايا ضمن البقايا الأحفورية للأغشية الخلوية الخارجية الأكبر (الشكل ٣-٧).

حسم اكتشاف هذه الأجنة الإسفنجية القضية ضدَّ النسخ الباقية من فرضية الأحافير المخادعة لعدة أسباب:

أولًا: رغم أنَّ الأشواك في الإسفنج مغلفة بطبقة رقيقة من السيليكا الزجاجية إلا أنَّ الإسفنج بشكلٍ عام يُعدُّ كائنًا رخو الجسم بسبب الأنسجة الرخوة التي يَصنعُ منها بقية جسده، بالإضافة إلى أنَّ خلايا كل الأجنة خلال الأطوار الجنينية الأولى تكون رخوة، حتى الحيوانات التي تمتاز بهياكل داخلية أو خارجية لا تظهر الأشكال البدئية من أجزائها الصلبة حتى مرحلة تشكل المُعَيدَة gastrulation؛ وهي مرحلة من التطور الجنيني. هكذا فإنَّ اكتشاف جنين في المراحل المبكرة من انقسام الخلايا يُظهر –دون شكّ– أن الصخور الرسوبية ما قبل الكامبرية يمكنها ضمن الظروف المناسبة أن تحفظ الكائنات ذات الأجسام الرخوة.

وقد أثبَتَ ذلك أمرًا آخر، حيث وجد جي واي تشين أجنة الإسفنج (ما قبل الكامبري) هذه تحت حدود طبقات الكامبري في الصخور ما قبل الكامبرية الحديثة، لكن هذه الطبقات ما قبل الكامبرية لم تَحفظ بقايا أي أشكال وسيطة أو سالفة تؤدِّي إلى المجموعات الرئيسة الأخرى في الحيوانات الكامبرية، ممَّا طرح سؤالًا واضحًا: إن كانت الطبقات الرسوبية ما قبل الكامبرية تحت طين ماوتيانشان قد حفظت الأنسجة الرخوة لأجنة الإسفنج المجهرية الصغيرة فلماذا لم تَحفظ أيضًا الأسلاف القريبة لجميع الحيوانات التي ظَهرت في العصر الكامبري؟ وخاصةً أنَّ بعض هذه الحيوانات على الأقلِّ امتازت بوجود بعض الأجزاء الصلبة كشرط لقدرتها على الحياة.

إذا استطاعت هذه الطبقات حفظ الأجنة فيجب أن تحتفظ بالحيوانات كاملة التطوُّر على الأقلِّ إن كانت مثل هذه الحيوانات موجودة في ذلك الوقت، لكن أشكال أسلاف الحيواناتِ كاملةِ التطور لم تُحفظ في الوقت الذي حفظت فيه أجنة الإسفنج الصغيرة[٥١]، مما يُشيرُ ببساطةٍ إلى أنَّ هذه الأشكال لم تكن موجودة في طبقات ما قبل الكامبري.



الشكل (٣-٧): الشكل (٣-٧)a: (فوق) صور لأجنة إسفنج متحجرة في المراحل الأولى من الانقسام الخلوي، ويظهر الإسفنج في مرحلة الخلايا الثمانية، يشاهد أربعة أمامية منها. الشكل (٣-٧)b: (يمين) صورة قريبة لأحفورة خلايا جنين الإسفنج، تظهر عددًا كبيرًا من حبيبات المح داخلها. بإذن من باول تشاين.

بالطبع فإنَّ هناك شروطًا تقلِّل من فرصة حفظ الأحافير، إذ نَعلم على سبيل المثال أنَّ الرمالَ القريبة من الشاطئ لا تَحتفظ بالتفاصيل، ناهيك عن التفاصيل الدقيقة للكائنات الصغيرة جدًا، والتي يَبلُغُ طولها ميليمترًا واحدًا أو أقل من ذلك.[٥٢] مع ذلك فإنَّ مثل هذه الاعتبارات لا تدعم كثيرًا فرضية الأحافير المخادعة، فالبيئات الرسوبية التي أنتجت الكربونات والفوسفوريت والغضار الصفائحي في الطبقات ما قبل الكامبرية الأدنى من غضار ماوتيانشان الصفائحي –

على سبيل المثال- وفرت بيئة ملائمة لحفظ أحافير كل أنواع الكائنات في العصور ما قبل الكامبرية.

على مؤيدي فرضية الأحافير المخادعة أن يُظهروا أنَّ هذه العوامل كانت موجودة في كل البيئات الرسوبية ما قبل الكامبرية في كل العالم، وليس مجرد القول إنَّ بعضَ العوامل المعينة لا تُشجِّعُ على الحفظ في العموم، فهذا أمرٌ لا يُشكِّكُ فيه أحد. لو كانت رمال جوار الشاطئ هي التي تحوي كل الرسوبيات ما قبل الكامبرية لما توقع علماء الأحافير إيجاد أي أحافير هناك -على الأقل الصغيرة منها-، لكن يتضح أنَّ هذا ليس صحيحًا، فالطبقات ما قبل الكامبرية تحتوي على عدة أنواع من الرسوبيات التي يُمكنها حفظ التفاصيل الدقيقة لبقايا حيوانات، ومنها أجنة الإسفنج الصغيرة والهشة -ما حدث بالفعل في حالة تشكيل Doushantuo في الصين-.

أضف إلى ذلك ملاحظة عالما الجيولوجيا مارك وديانا ماكمينامين لنمط الرسوبيات في العديد من المواقع الكامبرية حول العالم -منها موقع درساه بعمق في نيو فاوندلاند-، فهو قليلُ التغيُّر جدًا عبر الحد الفاصل بين العصر الكامبري والعصر ما قبل الكامبري الحديث، الأمر الذي يقتضي توفير العديد من البيئات ما قبل الكامبرية -لبيئات جيدة- توازي ما توفَّر خلال العصر الكامبري لحفظ الأحافير.[٥٣]

في كتابهما الصادر عام ٢٠١٣ بعنوان (الانفجار الكامبري) ذهب عالما الأحياء جيمس فالنتاين ودوغلاس إيروين أبعَدَ من ذلك، فقد أشارا إلى أنَّ العديد من البيئات الرسوبية ما قبل الكامبرية توفّر محطات أفضل لحفظ الأحافير من تلك الموجودة في الفترة الكامبرية، ويقولان: "لقد حَدثَ تغيُّر ثوري في البيئة الرسوبية -

من ترسبات مجهرية ثابتة خلال العهد الإدياكاري Ediacaran (ما قبل الكامبري الحديث)، إلى رسوبيات مليئة بزبد حيوي مع ظهور الحيوانات الأكبر والأكثر فعالية– الأمر الذي حدث في العصر الكامبري المبكر. فربَّما انخفضت جودة حفظ الأحافير في بعض الظروف من العصر الإدكاري إلى العصر الكامبري، وهو عكس ما يدَّعيه البعض, لكنَّنا مع ذلك وجدنا انفجارًا غنيًا وواسعًا لكائنات العهد الكامبري". ٥٤

علم الأحافير الإحصائي

يَطرَحُ العملُ الحديث في مجال علم الأحافير الإحصائي مزيدًا من الشكِّ حول فرضية الأحافير المخادعة، فمنذ اكتشاف غضار بورجس الصفائحي تُبيّن الاكتشافاتُ الحديثة الكامبرية وما قبل الكامبرية أشكالًا أحفورية إمَّا تثبت قطعيًا وجود أشكال جديدة متباينة من الحياة أو تسجِّل (بتواتر كبير) وجود أشكال تندرج ضِمنَ مجموعات تصنيفية عليا موجودة مسبقًا (صنف أو تحت شعبة أو شعبة).

ونتيجةً لذلك يُدوِّنُ السجل الأحفوري بإسهاب الكائناتِ الموافقة للفروع النهائية من شجرة الحياة الداروينية –أشكالًا حيوانية تمثِّلُ شعبًا جديدة أو أصنافًا على سبيل المثال–، لكنَّه يَفشَل في الاحتفاظ بالكائنات التي تمثل الفروع الداخلية أو العقد المؤدية إلى الكائنات الممثلة للشعب، والتي تؤدِّي إلى الأصناف الجديدة من حيوانات الحقبة الكامبرية. لكن الكائنات الوسيطة هذه هي الأشكال المطلوبة بالذات لربط الفروع النهائية وتشكيل شجرة تطورية مترابطة منطقية، ولكي تثبت الأشكال الوسيطة أن الحيوانات الكامبرية نشأت فعلًا عبر العملية التطورية التدريجية من أسلاف أقل تطورًا في حقبة ما قبل كامبري.

لنتذكَّر أنَّ لويس آغاسيس ظَنَّ أنَّ هذا النمط الشجري لا يُمكنُ تفسيره باستخدام سجل أحفوري غير مكتملٍ، لأنَّ السجل الأحفوري انتقائي بشكلٍ غريب في الأشياء التي تَنقُصه، ويحتفظ بأدلة كثيرة من الفروع النهائية مُهملًا بشكلٍ مستمر الاحتفاظ بممثلي الفروع الداخلية أو العقد.

وصلَ علماءُ الأحافير المعاصرون مثل مايكل فوت من جامعة شيكاغو إلى استنتاج مماثل، فقد أَظهرَ باستخدام التحليل الإحصائي للعينات أنَّه كلمَّا زادت المكتشفات الأحفورية التي تنتمي للمجموعات التصنيفية الموجودة كلمَّا فشلت هذه المكتشفات في توثيق طيف الأشكال الوسيطة المتوقعة من وجهة النظر الداروينية عن تاريخ الحياة، فمن غير المحتمل عندئذ أن يَعكسَ غيابُ الأشكال الوسيطة تحيزًا، أو خطأ، في أخذ العينات أو الاعتيان –أي أنَّه ليس خطأ مصطنعًا نتيجة اعتيان ناقص أو حفظ غير مكتمل للأحفورات–.

يَقيسُ هذا النوع من التحليل فقط ما نحسه بالحدس في ظروف أخرى. تخيَّل أنَّك تَمُدّ يدك في برميل ضخم مليء بالأحجار الرخامية وتسحب بشكلٍ عشوائي رخامة صفراء وحمراء وزرقاء، في هذه النقطة سيتركك اعتيانك البسيط دون قرار واضح عن كونك تملك عينة ممثلة لمحتوى البرميل، قد تتخيَّل بدايةً أنَّ البرميل يحتوي على أحجار رخام تمثل طيفًا من الألوان الوسيطة، لكن عندما تُكمل الاعتيان من كل مكان من البرميل وتَجِدَ أنَّ البرميل لا يُعطي إلا نفس الألوان الثلاثة فإنَّك تبدأ بالشكِّ في أنَّه يُعطي خيارات محدودة، وهي أقل بكثيرٍ من ألوان الدهان الموجودة على أحد رفوف محل دهانات صغير.

وَجدَ علماءُ الأحافير على مدى السنوات المائة والخمسين الماضية –أو ما يقاربها– العديد من ممثلات الشعب المعروفة جدًا في وقت داروين، قياسًا على الألوان الأساسية الثلاثة، مع القليل من الأشكال الجديدة تمامًا –قياسًا على الألوان المميزة المختلفة مثل الأخضر والبرتقالي مثلًا–، ويوجد بالتأكيد كمٌّ كبير من التنوع ضمن هذه الشُّعب، إلا أنَّ القياس على الأقل يَعني أنَّ التباينات الشكلية بين أي فرد من إحدى الشعب وفرد آخر من شعبة أخرى كبيرة جدًا، وقد فَشِلَ علماءُ الأحياء تمامًا في إيجاد أشكال تملأ هذه الفجوات الواسعة في تباين الأشكال، ما يسمِّيه علماءُ الحياة (الفراغ المورفولوجي)؛ بمعنى أنَّهم فشلوا في إيجاد مكافئ أحيائي للألوان الوسيطة المصنفة حديثًا (أزرق بندلتون، الوردي المغبر، الرمادي كماسورة المدفع، الأرجواني... إلخ) والتي يُحبُّها مصممو الديكور. في المقابل أكَّد الاعتيان المكثف لسجل الأحافير وجود نمطٍ مدهش غير مستمر يظهر فيه كائنات تمثل الشعب الكبرى في عُزلةٍ تامة عن أعضاء الشعب الأخرى، دون وجود أشكال وسيطة تملأ الفراغ المورفولوجي الفاصل.

تمَّ توثيق تحليل (فوت) الإحصائي لهذا النمط بعددٍ متزايد من الأبحاث في علم الأحافير، ما يُبرهن عدم معقولية وجود أعداد ضخمة من الأشكال الوسيطة غير المُكتشفة حتى الآن من الحياة الحيوانية، وأقصِدُ الأشكال التي يُمكنها إغلاق الفراغ المورفولوجي بين الشعب الكامبرية، وهي خطوة تطورية صغيرة. نتيجة لذلك يقول تحليل فوت أنَّه بما أنَّ علماء الأحافير يتعاملون بشكلٍ متكرر مع برميل مشابه للبرميل في المثال، وبما أنَّهم قاموا باعتيانه من أوله إلى آخره فوجدوا ما يمثل شعبًا مختلفة متنوعة فقط، ولم يجدوا طيفًا من الأشكال الوسيطة، فيَجبُ علينا ألا نحبس أنفاسنا منتظرين ظهور مثل هذه الأشكال الوسيطة. ويتساءل فوت

"فيما إن كنَّا نملك عينة تمثل (التنوع المورفولوجي) تُمكّننا من الاعتماد على الأنماط المسجلة في سجل الأحافير؟" والجواب عنده هو نعم.[٥٥]

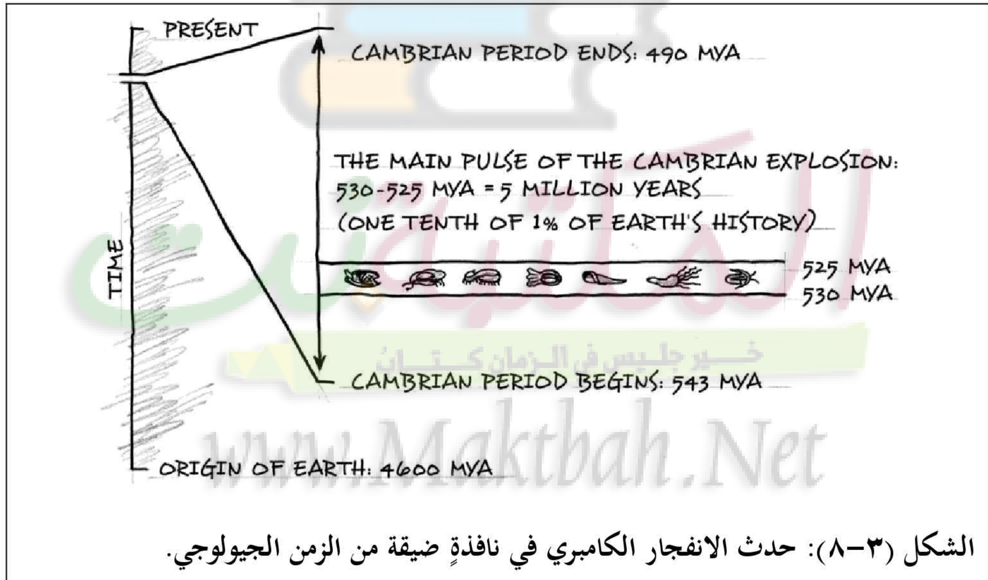
لا يَقصدُ فوت بهذا التوكيد عدم وجود أشكال حيوية باقية غير مُكتشفة، لكنَّه يعني أن لدينا سببًا وجيهًا لنستخلص أن مثل هذه الاكتشافات لن تُغيِّرَ النمط المتقطع الذي يَظهرُ على نطاقٍ واسع، يقول: "رغم أن أمامنا الكثير لنتعلمه عن التطور الشكلي"، إلا أنَّ النمط الإحصائي المتشكل من بيانات السجل الأحفوري الموجود بين أيدينا يبرهن على أنَّ "نظرتنا عن تاريخ التنوع الحيوي ناضجة في العديد من النواحي".[٥٦]

تشينغ جيانغ واللغز الكامبري[٥٧]

إنَّ الأحافير الكامبرية وما قبل الكامبرية في جنوب الصين جعلت اللغز المرتبط بالانفجار الكامبري أكثر حدة في مجالات أخرى:

أولًا، سَمَحت المكتشفات الأحفورية في جنوب الصين (والمقترنة بتقدُّمِ تقنيات تحديد العمر بقياس النشاط الإشعاعي في طبقات الحقبة الكامبرية) للعلماء بإعادة تقييم مدة الانفجار الكامبري، إذ كما يَظهرُ من اسمه فإنَّ الأحافير التي تُوثِّقُ الانفجار الكامبري تَبدو ضمن شريحة ضيقة من الوقت الجيولوجي، وقد ظَنَّ معظمُ علماء الأحافير حتى بدايات التسعينيات أنَّ الفترة الكامبرية بدأت قبل ٥٧٠ مليون عام، وانتهت قبل ٥١٠ مليون عام، وظهرت ضمن فترة الانفجار الكامبري أشكال الحيوانات الجديدة خلال نافذة من ٢٠-٤٠ مليون عام من العصر الكامبري المبكر.

قاد تطوران جديدان علماء الأحافير وعلماء عمر الأرض لتقليص مدة هذه التقييمات، ففي عام ١٩٩٣ سَمَحَ تقييم عمر بلورات الزركون في تشكيلات فوق وتحت الطبقات الكامبرية تمامًا في منطقة سيبيريا بإعادة تأريخ الطبقات الكامبرية، وأثبت تحليل النشاط الإشعاعي لهذه البلورات أن بداية الفترة الكامبرية في ٥٤٤ مليون سنة مضت[٥٨]، وأن بداية الانفجار الكامبري نفسه كانت حوالي ٥٣٠ مليون سنة مضت (انظر الشكل ٣-٨)، واقتَرَحت هذه الدراسات أيضًا أن انفجار أشكال الحيوانات الكامبرية الجديدة ظَهرَ في نافذة أضيق بكثيرٍ من الزمن الجيولوجي ممّا كان يعتقد سابقًا، حيث استمرت على الأقل ١٠ ملايين عام، وأنَّ "فترة التنوع المتزايد أسّيًّا" الرئيسية استمرت ٥-٦ ملايين عام فقط.[٥٩]



الشكل (٣-٨): حدث الانفجار الكامبري في نافذةٍ ضيقة من الزمن الجيولوجي.

إنَّ الكلام عن خمسة ملايين عام من وجهة نَظَرٍ جيولوجية يُمثِّلُ ٠.١ % (للدقة ٠.١١ %) من تاريخ الأرض، ويوضِّحُ جي واي تشين ذلك بقوله: "مقارنةً

مع تاريخ الحياة على الأرض الممتد لأكثر من ثلاثة مليارات عام، فإن فترة الانفجار يمكن أن تُمثِّل دقيقة واحدة في يوم من أربع وعشرين ساعة".[٦٠]

يُشكِّكُ بعضُ الجيولوجيين أو مختصي علم الأحياء التطورية بهذه الأرقام، لكنَّهم يقومون بهذا التشكيك عن طريق إعادة تعريف الانفجار الكامبري على أنَّه سلسلةٌ من الأحداث المنفصلة أكثر مما هو مصطلح يُشيرُ إلى التنوع الرئيسي لتصاميم الأجسام الجديدة في الطبقات الكامبرية السفلى. وقد شاركتُ عام ٢٠٠٩ في مناظرة كان أحد خصومي فيها هو عالم الأحياء دونالد بروثيرو من كلية أوكسيدنتال، وقد استخدم استراتيجية بلاغية للتقليل من حجم اللفز الكامبري، فادَّعى في كلمته الافتتاحية أنَّ الانفجار الكامبري قد امتدَّ فعلًا على فترة ٨٠ مليون عام، وأنَّ الذين قالوا بأنَّ الانفجار الكامبري تحدٍ لكفاية النظرية الداروينية الجديدة قد أخطأوا. وعندما استمعت لافتتاحيته راجعت كتابه لأعرف كيف وَجدَ هذه الملايين الثمانين من الأعوام، فوجدته متأكدًا بما يَكفي ليقسم الانفجار الكامبري إلى ثلاثة نبضات من الابتكار أو التنوع، وكان من ضمن ذلك نشوء مجموعة من الكائنات ما قبل الكامبرية المسمَّاة بالإيديكارية أو حيوانات العصر الفندي، شمل ذلك نشوء المخططات الجسدية الحيوانية في الطبقات الكامبرية الدنيا، والتنوع الثانوي المصاحب لذلك (التنوعات المبنية على السمات البنيوية الأساسية) في الطبقات الكامبرية العليا. إذ شمل ذلك على سبيل المثال ظهور ثلاثيات الفصوص الأولى، التي ظَهَرت فجأة في الطبقات الكامبرية السفلى، وضمّن أيضًا نشوء تنوعٍ من مختلف أنواع ثلاثيات الفصوص لاحقًا في الطبقات الكامبرية العليا.

وفي ردِّي على بروثيرو أشَرتُ إلى أنَّه حُرٌّ بالطبع في إعادة تعريف مصطلح (الانفجار الكامبري) كما يرغب، لكن استخدام المصطلح لوصف عدة انفجارات منفصلة –من أنواع مختلفة– لم يفعل شيئًا يمكنه أن يقلِّل من صعوبة تفسير أصل الظهور الانفجاري الأول للحيوانات الكامبرية مع خطط أجسادها الفريدة وصفاتها التشريحية المعقدة.

بالإضافة إلى أنَّنا سنرى في الفصل التالي أنَّ الكائنات الفندية ربما لم تكن حيوانات أصلًا، وأنَّها تبدي أقل تشابه مقارنة مع أي من الحيوانات التي ظهرت في العصر الكامبري، كما سنرى أنَّ معظم –إن لم يكن كل[٦١]– هذه الكائنات انقرضت قبل نشوء الحيوانات التي ظَهَرت أولًا في الطبقات الكامبرية السفلى، لذا فإنها لا تُسهم كثيرًا في تقليص مشكلة الأصل الانفجاري للحيوانات.

على أية حال يُمكنُ لتوسيع تعريف الانفجار الكامبري فقط أن يُخفي التحدي الحقيقي الذي يفرضه الحدث، وهو تحدٍ تأكد بمكتشفات تشينغ جيانغ. قام صامويل بورينغ المختصُّ بالعمر الجيولوجي في معهد ماساشوستس للتقنية MIT بتحليلٍ يُثبتُ أنَّ الظهور الأساسي للابتكارات المورفولوجية الكامبرية قد حدث في تسلسلٍ رسوبي لا يمتدُّ أكثر من ٦ ملايين عام[٦٢]، رغم ظهور كائنات تمثل ١٦ شعبة و٣٠ صنفًا جديدًا تمامًا للمرة الأولى في السجل الأحفوري خلال هذا الوقت، وقد بيَّن دوغلاس إروين وزملاؤه مثله في نشرة أحدث مستخدمين مخططًا مختلفًا قليلًا للتأريخ ظهور ١٣ شعبة جديدة في نافذة زمنية بالكاد تبلغ ٦ ملايين عام[٦٣]، وكما رأينا كانت ثلاثيات الفصوص الأولى من بين أشكال الحياة هذه مع عيونها المركبة المزودة بعدسات مقرَّبة ضمن صفات تشريحية معقدة أخرى. في النهاية تَبقى المشكلةُ قائمةً عند محاولة تفسير الظهور السريع جدًا للعديد من

الأشكال والبُنى الجديدة في فترة الانفجار الأول من البقايا الكامبرية، سواء كان الشخص يريد تضمين أحداث مختلفة أخرى تحت مسمَّى الانفجار الكامبري أم لا.(انظر القسم الثاني)

بروز النمط التنازلي في السجل الأحفوري

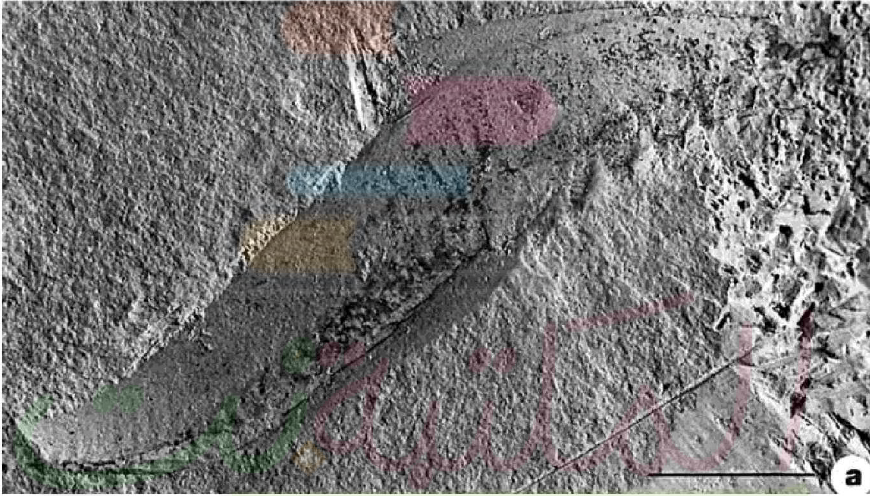
تَزِيدُ حيوانات تشينغ جيانغ من صعوبة انسجام الانفجار الكامبري مع وجهة النظر الداروينية لسببٍ آخر، إذ تزيد مكتشفات تشينغ جيانغ من حدة نمط الظهور التنازلي الذي تظهر فيه الكائنات الممثلة للفئات التصنيفية العليا (شعب—تحت شعب—أصناف) ومن ثم تتفرع إلى فئات تصنيفية أدنى (عائلات—أجناس—أنواع).

تتضارب اكتشافات تشينغ جيانغ مع النمط التصاعدي الذي تتوقَّعه الداروينية الجديدة، إذ لا يُظهر الموقع نشوءًا متدرِّجًا للأنواع الفريدة فيتبعه ظهور بطيء – لكن مؤكد– لكائنات تمثِّل الفئات التصنيفية الأعلى والأكثر تباينًا مؤديًا في النهاية إلى شعب جديدة، بل يَظهرُ أولًا –وفجأة– التباين على مستوى خطط الأجسام مع غياب الدليل على التمايز والتحديد في الفئات التصنيفية الدنيا، تمامًا كما هو الحال في غضار بورجس الصفائحي.

لننظر في قضية حبليات الظهر الأولى، وهي شعبة تتكون من كائنات تَمتَلِكُ بنية مرنة على شكل قضيب تسمَّى الحبل الظهري، تنتمي لها الثدييات والسمك والطيور كأعضاء معروفة منها. فقبل اكتشاف مجموعة حيوانات تشينغ جيانغ كانت الفقاريات غير معروفة في العصر الكامبري، وكان يُعتقد أنَّها ظهرت للمرة الأولى بعد ذلك بكثيرٍ خلال العصر الأوردفيشي[٦٤]، لكن أول ظهور في العصر الكامبري لحبليات الظهر قد وثق كفاية الآن بعد مكتشفات تشينغ جيانغ.

وجد جي واي تشين والعديدُ من علماء الأحافير الصينيين على سبيل المثال حيوانًا مغزلي الشكل يُشبه الأنقليس يسمَّى Yunnanozoon lividum اعتبره العديد من علماء الأحافير من الفقاريات القديمة لأنَّه يملك سبيلًا هضميًا وأقواسًا خيشومية وحبلًا ظهريًا كبيرًا يَبدو كأنَّه نخاع شوكي[٦٥]، بالإضافة إلى ذلك اكتشف جي واي تشين وزملاءه فقاريًا متطورًا يُشبه القحفيات –الفقاريات ذوات الجماجم– يُسمَّى Haikouella lanceolata من طين ماوتيانشان في الطبقات الكامبرية السفلى، ووفقًا لتشين وزملائه فإنَّ لدى حيوان Haikouella الكثير من صفات الـYunnanozoon lividum، مع العديد من الصفات التشريحية الإضافية التي تتضمن (قلبًا، شريانًا أورطيًا بطنيًا وظهريًا، شريانًا خيشوميًا أماميًا، شعيرات خيشومية، نتوءًا ذيليًّا، حبلًا عصبيًا مع دماغ كبير نسبيًا ورأس، وإمكانية وجود عيون جانبية وجوف فموي متوضع على الجهة البطنية مع مجسات قصيرة".[٦٦]





الشكل (٣-٩): الشكل (٣-٩)a: (أعلى) رسمة لسمكة كامبرية Myllokunmingia fengjiaoa. الشكل (٣-٩)b: (أسفل) صورة لأحفورة Myllokunmingia fengjiaoa. أعيد طبعه بإذن من .Macmillan Publishers Ltd: مجلة Nature، Shu وزملاؤه، "فقاريات من الطبقات الكامبرية السفلى من جنوب الصين"، Nature، ٤٠٢ (٤ تشرين الثاني ١٩٩٩): ٤٢-٤٦. حقوق النشر محفوظة عام ١٩٩٩.

كَتبَ سيمون كونواي موريس مع دي جي شو والعديدُ من الزملاء الصينيين عن اكتشاف أكثر إثارة، فقد اِكتَشَفوا أحفورة لسمكتين كامبريتين صغيرتين

Myllokunmingia fengjiaoa وHaikouichthys ercaicunensis (الشكل ٣-٩)، ما يُوحي بظهورٍ أبكر لكل من الأسماك والفقاريات -صنف من الحبليات- ، وكان يعتقد سابقًا أنَّهما ظهرتا لأول مرة في العصر الأوردوفيشي قبل ٤٧٥ مليون عام مضت، هذان التصنيفان هما دون شكٍّ أسماك (لا فكيات Agnathans)، وقد اعتبرت من قبل شو وزملائه أقرباء لصقاء للأنقليس المعاصر.[٦٧] في النهاية تظهر نشرة لشو وزملائه عن العينة المُقنعة الأولى من نوع آخر من حبليات العصر الكامبري، وهي حبليات الذيل Tunicate[٦٨]، وجدت هذه العينة Cheungkongella ancestralis أيضًا في الطبقات الكامبرية السفلى -في تشكيل كيون زوسي- قرب تشينغ جيانغ، وقد أثبتت هذه المكتشفات الحديثة أن شعبة الحبليات قد ظَهَرت في العصر الكامبري، وأنَّ كل واحدةٍ من تحت شعب الحبليات -حبليات الرأس Cephalochordata والقحفيات Craniata وحبليات الذيل Urochordata- ظهرت أولًا في العصر الكامبري أيضًا، وعلى كل حال فإنَّ اكتشاف حبليات الظهر وشعب أخرى غير مكتشفة من قبل في الصين من العصر الكامبري يُبرز نمط الظهور التنازلي المحير الذي أبدته مكتشفات العصر الكامبري الأخرى سابقا.[٦٩]

أسئلة أكثر من الأجوبة

هكذا، ورغم الجهود المبذولة لتفسير الانفجار الكامبري باستخدام عدة نسخ من فرضية الأحافير المخادعة، إلا أن لغز الانفجار الكامبري قد نما أكثر، وبحدةٍ أشد، نتيجةً للاكتشافات المثيرة في جنوب الصين التي قلبت شجرة داروين رأسًا على عقب.

عندما سمعت للمرة الأولى وصف جي واي تشين لهذه المكتشفات في عام ٢٠٠٠ كنت أحقق في سؤالٍ آخر غير محلول بعد عن تاريخ الحياة: ما هو الأمر الذي سبَّب ظهور الخلية الحية الأولى والمعلومات التي تحويها؟ وعندما سمعت د. تشين يَتحدث في ذلك اليوم في سياتل نشأ لدي اهتمام بسؤال محير آخر عن تاريخ الحياة: هل يُمكن أن يكون أصل حياة الحيوانات في حد ذاته صعبًا كصعوبة أصل الحياة نفسها؟ توصلت في النهاية إلى أنَّ الانفجار الكامبري يُقدِّمُ بالفعل تحديًا عميقًا للنظرية الداروينية المعاصرة، إلا أنَّه لم يمض وقت طويل قبل معرفتي اعتقاد بعض العلماء أن لغز الانفجار الكامبري أعيدت صياغته باكتشاف بعض الأحافير المبهمة في فترة ما قبل الكامبري، وهو أمر سنعالجه لاحقًا.

الفصل الرابع

ماذا عن الأحافير المحفوظة؟

ماذا عن الأحافير المحفوظة؟

الجوُّ في صالة متحف سام نوبل للعلوم متوتر للغاية، مع لمسة أمنية تَلفّ مدينة نورمان في أوكلاهوما، حيث تستعدُ عناصر الشرطة المحلية لحفظ الأمن، كما يَعتري التغيُّر الواضح حراس القاعة الذين يُفترض أنَّ مهمتهم مَنوطة بالأحداث الجامعية الاعتيادية فقط، فما هو الحدث اليوم؟ إنَّه فيلم وثائقي جديد بعنوان معضلة داروين Darwin’s Dilemma، أنوي عرضه مع زميلي من معهد ديسكفري جوناثان ويلز Jonathan Wells في ذلك المكان، وسيَسبُر الفيلم التحديات التي واجهت نظرية التطوُّر من زاوية السجل الأحفوري.

لأسابيع قبل انطلاق حدثنا هذا في سبتمبر من العام ٢٠٠٩، هدَّد طلاب بيولوجيا تطورية ومجموعة طلاب ملحدين، حرضهم مدونون من خارج الحرم الجامعي، بتخريب العرض، وقد وَعدَ طلاب من كلية البيولوجيا بالحضور أيضًا، لذا وقبل بدء العرض الرسمي تجمهر عددٌ كبير من الناس في المكان.

لم يَرغب قسم الجيولوجيا ولا المتحف بتَعقيد المسألة –من وجهة نظرهم– من خلال عرض الفيلم أوّلًا؛ لذا قرروا توجيه ضربة استباقية من خلال الإعلان عن محاضرة رسمية مصمَّمة ومجدولة تَسعى للردِّ على الفيلم وتفنيده. في الإعلان صرَّح المتحف أنَّه نظرًا لتمويله العمومي فهو لا يَملِكُ إلا تأجير القاعة لمجموعات وإن كانت لا تحترم "المعتقدات الدينية" أو "الأدبيات العلمية"، كما صرَّح الإعلان بأنَّ متحف سام نوبل للعلوم "لا يَدعَمُ أي رؤية غير علمية، وإن تقنّعت بالعلم، كالتي يتبنَّاها مركز ديسكفري". كما تضمَّن إعلان المتحف أيضًا أنَّ المحاضرة المُزمَع إقامتها سيُلقيها أحد القائمين على المتحف، وهو عالم أحافير من الجامعة نفسها.

استهزأ الإعلان بعنوان الفيلم –"الانفجار" الكامبري– بوضع إشارات اقتباس تَهدُفُ للتخويف، وشهدت المحاضرة التي ستبدأ في تمام الخامسة مساء أيضًا حضور الحشد المنزعج منها والجمهور الأكثر ودِّيَّة الذي أتى لمشاهدة الفيلم.

حضر البيولوجي جوناثان ويلز –والمعروف بتشكيكه بنظرية التطور المعاصرة– المحاضرة السابقة للفيلم متجاهلًا بعض النظرات الساخطة، فاستمع إلى عالم الأحافير الجامعي وهو يُجادلُ بأنَّ الانفجار الكامبري لا يُمثِّلُ أي معضلة أمام نظرية التطور الداروينية، كما توقَّع ذلك العالم أنَّه لو امتلك داروين المعرفة التي نَملِكُها اليوم عن السجل الأحفوري للحقبة الكامبرية لاحتفى بذلك السجل وعدَّه دليلًا على صحة نظريته، وأنكر عالم الأحافير هذا أيضًا الظهور المفاجئ للأشكال الحيوانية المبتكرة في العصر الكامبري، ثم جادل بدلًا من ذلك بأنَّها بزغت من أشكال رديمية (rudimentary: بدائية غير متطورة بشكلٍ كامل) سبقتها في العصور ما قبل الكامبرية المتأخرة، وذكر اكتشاف علماء الأحافير في ترسبات العصور ما قبل الكامبرية المتأخرة لإسفنج متحجر، ونوع من الرخويات البدائية، وأخاديد من صنع الديدان.

كما أكَّد بشكلٍ خاص على أهمية مجموعة من الكائنات الغامضة التي ظهرت في مرتفعات إيدياكارا جنوب أستراليا، والتي يَعودُ تاريخها إلى ٥٦٥ مليون سنة خلت من العصر ما قبل الكامبري المعروف باسم (العصر الفندي) أو (العصر الإيدياكاري) Vendian أو Ediacaran، وقد كُنت أنا وجوناثان على إدراك تام بأنَّ معظمَ علماءِ الأحافير لا يَعتبرون تلك المتعضيات المتحجرة سلفًا مشتركًا معقولًا لكائنات العصر الكامبري، لكن في تلك الأمسية زعم الخبير من الجامعة عكس ذلك تمامًا، كما زعم أنَّ بعض المتعضيات الإيدياكارية الغامضة (ذات

الأسماء العجيبة كـ(Vernanimalcula وParvancorina وArkarua) تُمثِّل أوائل متناظرات الجانبين bilaterians –وهي حيوانات ذات شطرين متناظرين– ومفصليات الأرجل وشائكات الجلد، وأصرَّ على أنَّ هذه المتعضيات قد استهلت الانفجار الحيواني قبل الوقت المحسوب سلفا بـ٤٠ مليون عام، فكانت الفتيلة التي أشعلت الانفجار الكامبري في أشكال الأسلاف الحيوانية البدائية المفترضة لأهم الشعب الكامبرية وتصميماتها الجسدية.

وقبل ساعة من تقدُّمي لقيادة النقاش والإجابة عما يَطرحه الجمهور، الذي كان شديد العداء في توجيه أسئلة حول الفيلم الكامبري، فاستدعاني جوناثان ويلز وبحوزته تقرير حول محاولة المتحف دحْض الفيلم بشكلٍ سلطوي، فقد زعم العرض التقديمي حله الغز الكامبري –معضلة داروين– من خلال عرضه لاكتشافات أثبتت وجود الأسلاف المشتركة للمجموعات الحيوانية الكامبرية الكبيرة. ولكن هل هذا حقيقي؟

حيوانات العصر الإيدياكاري، والانتشار في العصر الفندي

رأينا في الفصل السابق محاولات العديد من علماء الأحافير البارزين لشرح الانفجار الكامبري على أنَّه مشهدٌ ناقص نتيجة الاعتيان الناقص للسجل الأحفوري، وكانت المحاضرة التي تلقاها زملائي في أوكلاهوما تنحو منحى مغايرًا تمامًا، معطية انطباعًا قويًا بأنَّ سجل الأحفورات ما قبل الكامبرية يَحفظُ لنا بحق الأشكال السلفية من الحيوانات الكامبرية، وأن زمرة الحيوانات الإيدياكارية بشكلٍ خاص تحتوي على تلك الأشكال.

تَعَرضت كثيرًا في العروض التقديمية العامة حول الانفجار الكامبري لهذا الزعم، الذي كان دائمًا على شكل سؤال عام غير محدد: "ماذا عن المتعضيات الإيدياكارية؟" ورغم ذلك، فقد تحرَّيت أثناء الكتابة حول العصر الكامبري عدم ذكر من قال بأن الكائنات الإيدياكارية هي أسلاف للحيوانات الكامبرية من خبراء العصر الكامبري أو الإيدياكاري، خشية الوقوع في مغالطة رجل القش. يشكِّك معظم علماء الأحافير بكون الأشكال الإيدياكارية تُمثِّل أسلافًا مشتركة للحيوانات الكامبرية، والقليل منهم فقط يَعتقدُ أنَّ السجل الأحفوري من العصور ما قبل الكامبرية المتأخرة تخفِّف من حجم وحدّة الانفجار الكامبري، من المهم توضيح هذا الزعم لأنَّه يعتبر كالأسطورة الأحفورية الحديثة، تلك التي تجدها في معظم الأحيان وقد وجدت الطريق المناسب إلى ألسنة علماء الأحافير.

يأتي اسم الحيوانات الإيدياكارية نسبة إلى أكثر أماكن اكتشافها أهمية وهي تلال إيدياكارا Ediacaran Hills في منطقة نائية جنوب شرق أستراليا، ويَعودُ تاريخ هذه الكائنات إلى الدهر ما قبل الكامبري، وهي الفترة التي أعيد تسميتها لاحقًا من قبل الاتحاد العالمي لعلوم الجيولوجيا إلى (العصر الإيدياكاري)[١]، ونظرًا لاعتياد الجيولوجيون تَسمية العصر الأخير من الدهر ما قبل الكامبري بالعصر الفندي فقد سمَّى علماءُ الأحافير أيضًا مجموعة الحيوانات الإيدياكارية بالحيوانات -أو الكائنات الحية- الفندية (الشكل ١-٦). كما عَثرَ علماءُ الأحافير على كائنات إيدياكارية أو فندية أخرى في نيوفاوندلاند بإنجلترا، وفي البحر الأبيض شمال غرب روسيا، وفي صحراء ناميبيا في جنوب إفريقيا؛ مما أوحى بتوزع يَكاد يَشمل العالم كله. ورغم أنَّ تلك الأحافير مؤرخة بزمن يقدَّر بين ٧٠٠ و٦٤٠ مليون عام مضى، إلا أنّ ما قدمته لنا طبقات الرماد البركاني فوق وأسفل المواقع

الناميبية وفَّرَ لنا تاريخًا إشعاعيًا أكثر دقة، فحددت تلك الدراسات تاريخ أول ظهور لتلك الكائنات الإيدياكارية بحوالي ٥٧٠–٥٦٥ مليون عام مضى، وكان آخر ظهور لها عند مطلع العصر الكامبري منذ حوالي ٥٤٣ مليون عام، أي حوالي ١٣ مليون عام قبل بدء الانفجار الكامبري ذاته.[٢]

لقد أنتجت لنا آخر الطبقات المترسبة حول العالم في الحقبة ما قبل الكامبرية أربعة أنواع من الأحافير، يَعودُ تاريخ كل واحدة منها إلى ما بين ٥٧٠ و٥٤٣ مليون سنة مَضَت، وكانت أوَّل مجموعة مكونةً من الإسفنجيات المذكورة في الفصل السابق، حيث ظَهَرت تلك الكائنات منذ حوالي ٥٧٠–٥٦٥ مليون عام.

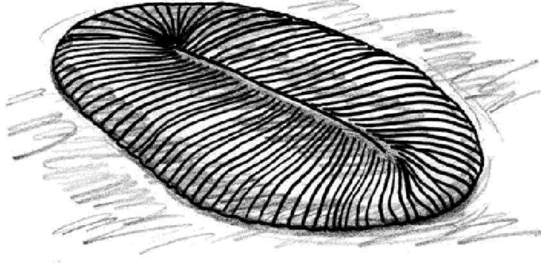



Figure 4.1a: Artist depiction of *Dickinsonia* (*left*) and photograph of *Dickinsonia* fossil (*right*).

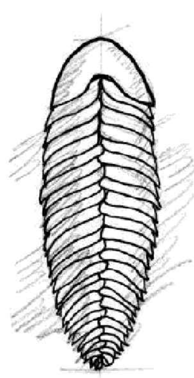



Figure 4.1b: Artist depiction of *Spriggina* (*left*) and photograph of *Spriggina* fossil (*right*).

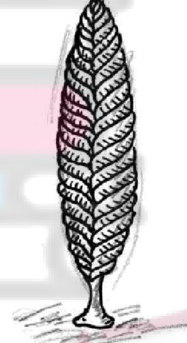
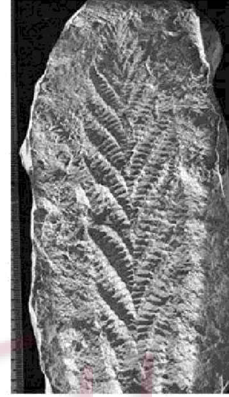



Figure 4.1c: Artist depiction of *Charnia* (*left*), and photograph of *Charnia* fossil (*right*). *Courtesy Wikimedia Commons, user Smith609.*

الشكل (٤–١): أمثلة على الأحافير الإيدياكارية الغامضة (Dickinsonia وSpriggina وCharnia)، **صور الأحافير في الشكلين** (4–1)a و(4–2)b **بالإذن من** Peterson, K. J.، و Cotton, J. A.، Gehling, J. G.، وPisani, D، **بعنوان: (ظهور ثنائيات الجانب** Bilaterians **في العصر الإيدياكاري: انسجام بين الجينات والسجل الجيولوجي الأحفوري)، في المداولات الفلسفية للجمعية الملكية** Philosophical Transactions of the Royal Society: B، 2008، 363 (1496): 1435–43. **والشكل ٢ بإذن من الجمعية الملكية** Royal Society.

ثم ظَهَرت مجموعة مميزة من الأحافير على التلال الإيدياكارية، وتَشمَلُ تلك الأحافير هناك أشكالًا معروفة جيدًا لكائنات Dickinsonia ذات الأجساد المسطحة كالفرشات الهوائية air mattress، بالإضافة إلى كائنات Spriggina الغامضة ذات الجسد المتطاول المقسم، وربما كان رأسها مدرعًا، أضِف إلى ذلك ظهور كائنات Charnia الشبيهة بأوراق السرخس (الشكل ٤–١)، وقد كانت تلك الكائنات –معظمها على أقل تقدير– ذات أجساد رخوة، وكبيرة بما فيه الكفاية، مما يُتيح التعرُّف عليها بالعين المجردة.

تضمَّنت المجموعة الثالثة ما يسمَّى بالأحفورات الأثرية، وهي البقايا المُحتملة الناتجة عن نشاط حيواني، كالسكك والثقوب وكريات الفضلات، والتي يَعزوها بعض علماء الأحافير للديدان القديمة.

أمَّا المجموعة الرابعة فهي أحفورات لما يعتقد أنَّها رخويات بدائية، ويَتلقى هذا الاحتمال الدعم من الاكتشافات الأخيرة التي حصلت في الجروف الصخرية على امتداد البحر الأبيض في شمال شرق روسيا، فقد اِكتَشَف هناك العلماء الروس خمسًا وثلاثين عينة مميزة لرخويات محتملة، سموها الكمبريلا Kimberella، كانت على الأغلب شكلًا حيوانيًا بسيطا، وقد أُرّخت تلك العينات القادمة من البحر الأبيض بتاريخ يعود إلى ٥٥٠ مليون سنة خَلت، ما يَجعل الكمبريلا "تَملِكُ صدفة قوية كصدفة البطلينوس –لكن ليست قاسية– ترسبت على امتداد قعر البحر وأخَذت شكل الرخويات".[٣] وقد علَّقَ عالمُ الأحافير دوغلاس إروين من المعهد السميثسوني قائلًا: "إنَّه أول كائن قادر على إقناعنا أنَّه أكثر تعقيدًا من الديدان المسطحة".[٤] أضِف إلى ذلك أنَّ السكك المرسومة في قاع البحر في الترسبات ما قبل الكامبرية بكل من كندا وأستراليا تُعزى للرخويات، ذلك لأنَّ السكك تُشبه

الآثار التي يمكن أن يَتركها صفٌّ أسنان صغيرة على شريط شبيه باللسان موجود عند بعض الرخويات يستخدم أثناء كشطها قاع البحر للحصول على الطعام، وفي تلك الحالة تكون الكمبريلا هي التي قد صَنَعت تلك السكك.[٥] استنتج هذا مؤلفا الورقة البحثية المنشورة في مجلة Nature (ميخائيل فيدونكين Mikhail Fedonkin من الأكاديمية الروسية للعلوم، وبنجامين واغونر Benjamin Waggoner الباحث حينها في جامعة كاليفورنيا-بيركلي)، واقترحا أنّ كائناتٍ كتلك "بدأت بالتشعب قبل بداية العصر الكامبري".[٦] لكن علماء الأحافير على أية حال لايزالون في مرحلة تقييم أهمية الدليل.[٧]

دلالة العصر الإيدياكاري

هل تحلّ الآثار الخاصة بمتعضيات التلال الإيدياكارية أو الكائنات الحية الإيدياكارية والفندية ككل معضلة الانفجار الكامبري؟ هل تمثل تلك الأشكالُ الغريبة الشرارةَ التي أشعلت الانفجار الكامبري وأزالت الحاجة إلى شرح الظهور السريع لمخططات الأجساد الفريدة وأشكال الحياة الحيوانية؟ لدينا العديد من الأسباب الجيدة التي تَجعلُنا نشك في تلك الفكرة.

أولًا: لا يبدو أنَّ المخططات الجسدية لأحافير المتعضيات نفسها -وليس مجرد الأحافير الأثرية- تَحمِلُ أي ارتباط واضح بأي من المتعضيات التي ظهرت في الانفجار الكامبري أو ما تلاه، باستثناء الإسفنجيات وربما الكيمبريلا.[٨] إذ لا تَملِكُ الكائنات الإيدياكارية الأكثر وضوحًا مثل Dickinsonia وSpriggina وCharnia رأسًا واضحًا أو فمًا أو بنية متناظرة الجانبين (انظر في الأسفل) أو أمعاء أو أعضاء حسية كالأعين، لذا يُشكِّك العديد من علماء الأحافير فيما إذا كانت تلك الكائنات تنتمي حقًا إلى المملكة الحيوانية.

خُذ على سبيل المثال Dickinsonia، التي رأى عالم الأحافير في جامعة أوريغون Gregory Retallack أنَّها من أقارب "الفطور والإشنيات"، لأنَّ نمط حفظها كأحفورة "غير قابل للمقارنة مع الأسماك الهلامية أو الديدان أو القَرَّاصَات cnidarians ذوات الأجساد الرخوية، بل مع السجل الأحفوري للفطور والإشنيات"، إذ لطالما كان الموقع التصنيفي للDickinsonia وفق ما كتبه ريتالاك لغزًا بلا حلّ، ومما كَتَبه: "ما تزال علاقات القربى البيولوجية للDickinsonia إشكالية، وذلك لاعتبارها مرة على أنَّها من عديدات الأشواك polychaete أو المهتزات turbellarian أو الديدان العلقية annelid worm أو الأسماك الهلامية أو الحيوانات المائية البسيطة polyp أو أولاني من حاملات الأجسام الأجنبية xenophyophoran أو الأشنيات أو الفطور".[٩]

ونَشَبَ نزاعٌ مشابه أثناء محاولة تصنيف Spriggina، ففي عام ١٩٧٦ عندما وصف عالم الأحافير مارتن غلايسنر Martin Glaessner، وهو أوَّل من درس الكائنات الإيدياكارية بشكلٍ مفصل، السبريجينا على أنَّها ربما تكون دودة علقية متعددة الأشواك استنادًا إلى جسمها المفصص، لكن أتى فيما بعد رفض سايمون كونواي موريس لتلك الفرضية لأنَّ السبريجينا لا تُبدي أي دليل على وجود الأشواك chaetes أو النتوءات الهلبية المميزة والشبيهة بالأرجل التي تمتلكها الديدان متعددة الأشواك، ثم تَلا ذلك تخلِّي غلايسنر نفسه عن الفرضية الأصلية القائلة بأنَّ السبريجينا هي سلف عديدات الأشواك، فصرَّح بأنَّه "لا يمكن اعتبار السبريجينا عديدة أشواك بدائية كونها لا تمتلك الصفات السلفية المحتملة لتلك المجموعة والتي أشار إليها المختصون في التطور وعلم التصنيف".[١٠]

في العام ١٩٨١ قامَ عالمُ الأحافير سفين يورغين بيركيت سميث Sven Jorgen Birket-Smith بإعادة بناء أحفورة السبريجينا، يَظهرُ فيها وجود رأس وأرجل شبيهة بتلك التي تمتلكها ثلاثيات الفصوص، رغم أن الفحوصات التي أجريت على عينات السبريجينا التالية لم تُبدِ أي دليل على امتلاكها لأطراف من أي نوع[١١]، وفي العام ١٩٨٤ ألقى غلايسنر مجددًا بدلوه في هذه القضية فقال: "لا تبدي السبريجينا أي معالم نوعية لمفصليات الأرجل، وخصوصا ثلاثيات الفصوص"[١٢]، كما ذكر أيضًا أنَّ التقسيمات الجسدية للسبريجينا "بملحقاتها المعروفة ترتقي إلى مستوى الديدان العلقية عديدة الأشواك" [١٣]، رغم أنَّه رفض الادِّعاء القائل بأنَّ السبريجينا سلف للديدان العلقية عديدة الأشواك كما ذكرنا، وبعد ذلك كله تقدم باقتراح لجعل السبريجينا ممثلة بفرع جانبي من شجرة الحياة للحيوانات، ربما تكون حاولت عبثًا أن تنتج لنا (مجازًا) مفصليات الأرجل.

وفي عرضه أمام الجمعية الجيولوجية الأمريكية في عام ٢٠٠٣ أحيا الجيولوجي مارك مكمينامن Mark McMenamin فكرة احتمال أن تكون السبريجينا سلفًا لثلاثيات الفصوص، وجَادلَ بإمكانية مقارنة العديد من الخصال التي تَظهرُ في أحافير هذه الكائنات بتلك الموجودة في ثلاثيات الفصوص مثل "وجود الحسك الشدقي" والرأس –المنطقة الرأسية– المطموس[١٤]، لكن رغم ذلك صرَّح العديد من خبراء الكائنات الإيدياكارية بما فيهم مكمينامين بأنَّ عينات السبريجينا لا تُبدي أي دليل على وجود (العين أو الأطراف أو الفم أو الشرج)، والتي توجد معظمها في أحافير ثلاثيات الفصوص.[١٥]

ما يزال علماءُ الأحافير الباقين متشككين فيما إذا كانت السبريجينا تُبدي أشواكًا شدقية في الحقيقية أم لا، مصرحين بأنَّ العينات الجيدة تُبدي حوافًّا ناعمة

إلى حد ما دون أشواك بارزة[١٦]، إضافة إلى ذلك نَجِدُ أنَّ تحليل العينات الجيدة من السبريجينا يُظهر أنَّها لا تملك بنية ثنائية الجانب، مما يَهدمُ المحاولات السابقة لتصنيفها ضمن متناظرات الجانبين، وبالتالي امتناع تصنفيها فيما بعد على أنَّها من مفصليات الأرجل.[١٧] لكن السبريجينا تبدي شيئا يسمَّى بـ(التناظر الزلق glide symmetry)، الذي تكون فيه قسيمات الجسم في كلا جانبيه متقابلة، لكنها غير متحاذية.[١٨] يُصرِّح لورين بابوك Loren Babcock كجيولوجي في جامعة ولاية أوهايو قائلًا: "يَتَضمنُ مخطط الجسد في العديد من الكائنات الإيدياكارية نموذجًا يشابه السحَّاب zipper، نجده مثلا لدى Dickinsonia وSpriggina ، ويتضمن قسمين أيمن وأيسر، لكنهما لا يتناظران كصور في مرآة".[١٩] وقد تَركَ غياب هذا التناظر –والذي يعد من المظاهر المميزة لكل الكائنات ثنائية الجانب– وغياب العديد من المظاهر المميزة لثلاثيات الفصوص في عينات أحافير السبريجينا حالة من عدم اليقين في تصنيف هذه المتعضيات الغامضة.

يَستخلص لنا علماءُ الأحافير جيمس فالنتاين ودوغلاس إروين وديفيد جابلونسكي من حيرة فَوضى وجهات النظر المتناقضة حول الأحافير الإيدياكارية التالي: "بالرغم من تشابه أحافير الكائنات الرخوة التي تظهر منذ حوالي ٥٦٥ مليون عام مضى مع الحيوانات، لكن الجدال يحتدم حول تصنيفها، ليَتِم عرضها في السنوات الفائتة فقط على أنَّها أوالي protozoans كالأشنيات، أو قريبة من القرّاصيات cnidarians، أو أنَّها من مجموعة شقيقة للقرّاصيات ولباقي الحيوانات، أو على أنَّها تُمثِّلُ شعبة حيوانية منقرضة كانت أكثر تطورًا، أو ربما تمثل مملكة جديدة منفصلة عن الحيوانات بشكلٍ كامل".[٢٠] ومما قاله أيضًا كل من فالنتاين وإروين وجابلونسكي هو أنَّ علماء الأحافير الذين يعتبرون كائنات العصر الإيدياكاري (حيوانات) نادرًا ما يصنفونها بذات الوضوح؛ نتيجة فهمهم لغموض

أواصر القرابة بين تلكم الكائنات وأي مجموعات حيوانية معروفة، فقالوا: "لا يزال المختصون الآخرون يَستبعدون تلك الكائنات بشكلٍ جزئي خارج الشعب الحيوانية الحيَّة، ووضعها آخرون مع القرّاصيات، في حين وضعها غيرهم مع الديدان المسطحة أو الديدان العلقية أو مفصليات الأرجل أو شائكات الجلد echinoderms".[٢١] يعود الشكُّ الذي يَكتنف تلك الأشكال الأحفورية جزئيًا إلى انقراضها المبكر، بالإضافة إلى غياب الخصائص المعرِّفة التي تتقاسمها مع المجموعات المعروفة. فخلصوا في النهاية إلى استنتاج مفاده: "نشأت حالة التخبُّط في الآراء لكون تلك الأجسام الأحفورية لا تميل للاشتراك بأية خصائص أو تفاصيل تشريحية مميزة مع المجموعات الحديثة، وعليه فإنَّ التصنيفات تُبنى على تشابهات ضبابية من حيث الشكل العام والأنماط، وتلك طرائق قد ثبت مرارًا وتكرارًا أنَّها مضللة في حالات أخرى".[٢٢]

يشكِّكُ اثنان آخران من علماء الأحافير فيما إذا كانت الحيوانات الكامبرية قد انحدرت من تلك الأشكال الإيدياكارية، حيث صور كل من آلان كوبر Alan Cooper وريتشارد فورتيي Richard Fortey –من جامعة أكسفورد– العلاقات التطورية بين الأحافير الكامبرية وما قبل الكامبرية في مخطط يوضح تطور السلالات، وفيه تظهر الحيوانات الإيدياكارية على خط منفصل عن الحيوانات الكامبرية بدلًا من أن تكون أسلافا لها.[٢٣]

في ورقة بحثية أخرى، يُوافق فورتي على أنَّ الكائنات الكامبرية "شهدت ظهورًا مفاجئًا في السجل الأحفوري لمعظم الأنماط الحيوانية (الشعب) التي ظلَّت سائدة على الحياة حتى يومنا هذا"، ويَعترف فورتي بوجود تنوع في أحافير طبقات الأرض الأقدم، لكنه يصرُّ بأنَّها "إما صغيرة إلى حد كبير (كالبكتيريا والطحالب)، أو أنَّ علاقتها بالكائنات الحية اليوم جدلية، كما في حالة أحافير الرخويات الموجودة في صخور Pound Quartzite الكوارتزية من أواخر الحقبة ما قبل الكامبرية، في منطقة إيدياكارا بجنوب أستراليا".[٢٤]

وبالمثل، جادل كل من عالم الأحافير أندرو نول Andrew Knoll والبيولوجي شون بي. كارول Sean B. Carroll بأنَّ "من الصعب حقًا رسم معالم مخططات أجساد الأحافير الإيدياكارية اللافقارية".[٢٥] ورغم اهتمام العديد من علماء الأحافير باحتمال تطور الأشكال الحيوانية الكامبرية من المتعضيات الإيدياكارية، إلا أنَّ عالم الأحافير بيتر وارد Peter Ward يقول: "تُلقي الدراسات الأخيرة بظلال الشك حول القرابة بين تلك البقايا الأثرية المحفوظة في الصخور الرملية (الإيدياكارية الأسترالية) والكائنات الحية في يومنا هذا"؛ أي الحيوانات الممثلة في الشعب، والتي ظهرت ابتداء في العصر الكامبري.[٢٦] وكما ذكرت مجلة Nature مؤخرًا بأنَّ الكائنات الإيدياكارية "إن كانت حيوانية، فلن تُشبه أي مخلوق آخر، أو ستكون قليلة الشبه به، سواء أكان أحفوريًّا أم موجودا".[٢٧]

قَادَ غياب القرابة الواضحة عددًا متزايدًا من علماء الأحافير إلى رفض الرباط التطوُّري بين غالبية الحيوانات الإيدياكارية والحيوانات الكامبرية، إن لم نَقُل كلها. على أية حال، اِقترَح البعض بإمكانية أن تؤسس الأحافير الأثرية لهذا الرابط، ففي ورقة بحثية موثقة في العام ٢٠١١ نشرت مجلة Science مقالة هامة يَصِفُ فيها دوغلاس إروين وزملاؤه اكتشاف أحافير إيدياكارية أثرية مكونة من سكك سطحية وثقوب وحبيبات برازية وآثار تغذوية، جادلوا بأنَّها (رغم صغرها) ربَّما نشأت عن حيوانات كديدان ذات درجة عالية من التعقيد.[٢٨]

وبناءً على هذا الاكتشافات جَادلَ إروين وعلماء أحافير آخرون بأنَّ هذه الأحافير الأثرية تَقترِحُ علينا وجود متعضيات ذات رأس وذيل وجهاز عصبي وجسد عضلي يسمحُ بالزحف وحفر الثقوب جيدًا، بالإضافة إلى أمعاء وفم وشرج.[٢٩] واقترح علماء أحافير آخرون أنَّ تلك الخصال قد تُشيرُ إلى وجود رخويات ما قبل كامبرية أو شعبة ديدان.[٣٠]

شكَّكَ عالمُ الأحافير الإنكليزي Graham Budd –الذي يَعمَلُ في جامعة أوبسالا بالسويد– وآخرون بتلك الرابطة، واحتجَّ Budd وزميله الجيولوجي Sören Jensen بأنَّ العديد من الأحافير الأثرية المزعومة تَحملُ أدلة على مواد ذات أصل غير عضوي: "هناك عدد كبير من التقارير حول أحافير أثرية أقدم، لكن يظهر بجلاء أنَّ معظمها يُمثِّلُ إمَّا بنى رسوبية غير عضوية أو ميتافيت metaphytes –نباتات أرضية– أو أنَّه مؤرخ بشكلٍ خاطئ".[٣١] بالرغم من ذلك فقد اِقتَرَحَ آخرون بأنَّ السكك السطحية والآثار ربما شكلتها متعضيات وحيدة الخلية متحركة، كأحد أشكال الأولانيات الضخمة القابعة في أعماق البحار، والذي يَترُكُ وراءه بصمة مشابهة لآثار متناظرات الجانبين. شَرحت إحدى الأوراق البحثية أنَّ بعض تلك الآثار يعود إلى ١.٥–١.٨ مليار عام، وهو تاريخ يتجاوز أجرأ المزاعم حول زمان نشوء الحياة الحيوانية متعددة الخلايا، مما أجبرَ الباحثين على التأمُّل في احتمال أن تكون تلك المواد ذات أصل لا عضوي أو بكتيري".[٣٢]

حتى إن فسرنا هذه الأحافير الأثرية بكونها ناتجة عن أنواع حيوانية، فإنَّ أكثر التفسيرات تفضيلًا تقترح بأنَّها تُشير لوجود مخططين جسديين حيوانين على الأكثر، لهما خصال مجهولة إلى حدٍ كبير، لذا يَفشلُ السجل الإيدياكاري فشلًا ذريعًا في التأسيس لتصورات عن وجود أشكال انتقالية تحتاجها وجهة النظر الداروينية عن تاريخ للحياة، إذ يَشهدُ الانفجار الكامبري أنَّ الظهور الأول للمتعضات الممثِّلة على الأقل لعشرين شعبة حيوانية، والكثير من الشعيبات والأصناف –لكل منها مخطط جسماني مميز لها بوضوح–. تُمثِّلُ الأشكال الإيدياكارية في أحسن الحالات أسلافًا محتملة لأربعة مخططات جسدية كحدٍ أقصى من العصر الكامبري، بما فيها تلك التي وُثقت عبر الأحافير الأثرية فقط،

وهذا ما يَتركُ الغالبية العظمى من الحيوانات الكامبرية دون أي أسلاف في الصخور ما قبل الكامبرية؛ حيث على الأقل تسعة عشر من أصل ثلاث وعشرين شعبة ظهرت في العصر الكامبري لا يوجد لها أي ممثل في الطبقات ما قبل الكامبرية.[٣٣]

ثالثا، حتى إن وُجد ممثلو تلك الشعب الحيوانية الأربع في العصر الإيدياكاري، فهذا لا يقتضي بالضرورة أنَّ تلك الأشكال انتقالية أو وسيطة قبل الوصول إلى الحيوانات الكامبرية، فقد كانت الإسفنجيات ما قبل الكامبرية (شعبة الإسفنجيات Porifera) على سبيل المثال شبيهة إلى حدٍ كبير بأخواتها في العصر الكامبري، مع ذلك فهي لم تُظهر أي تحوُّل تدريجي من أسلاف أبسط، ولم تُظهر وجود أصل مشترك لها مع أشكال أخرى متعددة، بل من المحتمل جدًا أنَّها ظهرت مبكرًا بشكلها الكامبري المعروف، كذلك يَبقَى الأمر صحيحًا لأي نوع من الديدان توثقه السكك والثقوب ما قبل الكامبرية.

حتى لو افترضنا فوق ذلك –كما قد يَفعلُ بعض مختصي البيولوجيا التطورية[٣٤]– انحدار الحيوانات الكامبرية التالية من أسلاف قبل كامبرية شبيهة بالإسفنج، إلا أنَّ الفجوة في التعقيد –مَقيسةً بعدد الأنماط الخلوية فقط، بغض النظر عن البنى التشريحية النوعية، والتنظيم المميَّز لنماذج مخططات الأجساد التي ظهرت لاحقًا في الحيوانات ولم تَكُن موجودة من قبل لدى الإسفنجيات–، هذه الفجوة تترك انقطاعًا ضخمًا في السجل الأحفوري يتوجَّبُ علينا شرحه، تمامًا كما في الفجوة المورفولوجية بين السبريجينا ومفصليات الأرجل الفعلية.

انفجار إيدياكاري صغير

تُوَفِّرُ الأحافير الإيدياكارية بحد ذاتها دليلًا على القفزة المحيرة في التعقيد البيولوجي، رغم أنَّ هذا التعقيد ليس كافيًا ليفسر الانفجار الكامبري، أو ربَّما كان في اتجاه مغاير لاتجاه الحيوانات الكامبرية، فقَبلَ ظهور المتعضيات من نوع

كيمبريلا وديكينسونيا والاسفنجيات كان الشكل الحي الوحيد الموثق في السجل الأحفوري هو كائنات وحيدة الخلية ذات عمر يتجاوز ٣ مليارات سنة، بالإضافة للمستعمرات الطحلبية، لذا فإنَّ ظهور الإسفنجيات والديدان والرخويات انطلاقًا من الكائنات وحيدة الخلية لَهُوَ أمرٌ شبيه بانتقال عجلة الغزل الى دراجة هوائية. صحيح أن الدراجة الهوائية لا تبدو من بعيد معقدة بملحقاتها بقدر تعقيد السيارة، إلا أنَّها تُبدي قفزة تكنولوجية هائلة التعقيد إذا ما قورنت بعجلة المغزل. بالمثل، رغم أن الكائنات الإيدياكارية تَبدو متواضعة، كما هو حال معظم الكائنات الكامبرية، إلا أنَّها تُمثِّلُ قفزةً هائلةً في التعقيد الوظيفي يفوق المتعضيات وحيدة الخلية والمستعمرات الطحلبية التي سبقتها.

هكذا تَشهدُ الكائنات الإيدياكارية ازديادًا مفاجئا ومنفصلا في التعقيد البيولوجي خلال نافذة جيولوجية زمنية صغيرة، حوالي ١٥ مليون سنة، بعد ٣ مليارات سنة كانت فيها المتعضيات وحيدة الخلية هي الساكن الوحيد للكرة الأرضية.[٣٥] ربما تتجاوز تلك القفزة التعقيدية –في وقت قصير نسبيًا من الزمن الجيولوجي– ما يمكن للانتقاء الطبيعي أن يفسِّره حينما يعمل على الطفرات العشوائية، وسنعود إلى ذلك السؤال في الجزء الثاني من الكتاب.

لذا فإنَّ الأحافير الإيدياكارية لا تحلُّ معضلة الازدياد المفاجئ في الأشكال البيولوجية والتعقيد خلال العصر الكامبري، بل تمثل ظهورًا مبكرًا –وإن كان أقل حدة– لذات النوع من المشاكل؛ فبالنسبة (للانفجار البيولوجي الكبير big bang)[٣٦] أضافت الكائنات الإيدياكارية (موجة مهمة) أخرى لهذا الانفجار، وقد صرَّح عالمُ الأحافير كيفين بيترسون Kevin Peterson وزملاؤه من جامعة دورتموث بأنَّ هذه الكائنات الحية تمثل "قفزة كمية في التعقيد البيئي إذا ما قورنت بـ(المليارات المملة) من السنين التي ميَّزت الأرض في الأحقاب السابقة للعصر

الإيدياكاري"، حتى وإن كانت تلك المتعضيات "بسيطة نسبيًا إذا ما قورنت بكائنات العصر الكامبري"، التي وصفت بأنَّها: "قفزة كمية في التعقيد البيئي والعضوي".[٣٧]

ويُشيرُ عددٌ من علماء الأحافير اليوم إلى التشعب الإيدياكاري بأنَّه انفجار بحد ذاته[٣٨]، إذ تزيد موجة الانفجار تلك من معضلة الانقطاع في الأحافير بشكلٍ أكثر حدة، وذلك لغياب الأشكال الانتقالية الموثوقة المرتبطة بالطبقات الإيدياكارية على الإطلاق حتى في الطبقات الأكثر بعدًا أسفلها.

في النهاية، حتى وإن اِعتَبَرَ أحدُهم ظهور الأحافير الإيدياكارية دليلًا على كونها فتيل الانفجار الكامبري، كما يَحلو للبعض تصويرها[٣٩]، فسيظل كامل الوقت المستهلك في الإشعاع الإيدياكاري والكامبري قصير نسبيًا لدرجة حرجة مقارنة بالتوقعات والمتطلبات التي تتصورها الداروينية الجديدة عن تاريخ الحياة، وسأشرحُ بالتفصيل هذا الأمر في الفصل الثامن، إذ ما الداروينية الجديدة إلا نسخة حديثة من نظرية داروين التي تَعتَمِدُ على إقحام التغيرات الجينية العشوائية المسمَّاة بالطفرات على أنَّها مصدر كثير من التباينات التي يَعملُ عليها الانتخاب الطبيعي، وتمامًا مثل الداروينية الكلاسيكية، تتطلَّبُ آلية الداروينية الجديدة وقتًا زمنيًا طويلًا لإنتاج الأشكال البيولوجية والبنى، لكنّ العديد من دراسات التأريخ الجيولوجي تَقترِحُ بأنَّ هناك ٤٠ إلى ٥٠ مليون سنة بين بداية الإشعاع الإيدياكاري (٥٦٥–٥٧٠ مليون سنة مضت) وبين نهاية الانفجار الكامبري (٥٢٠–٥٢٥ مليون سنة مضت).[٤٠] بالنسبة لأي شخص غير عالم بمعادلات علم الوراثة السكانية، والذي من خلاله يقدر خبراء البيولوجيا التطورية أتباع المذهب الدارويني الجديد مقدار التغيرات الشكلية التي تحصل في فترة زمنية بين ٤٠–٥٠ مليون سنة، فإن تلك

المدة تبدو وكأنَّها أبدية، لكن التقديرات المستمدة تجريبيًا لمعدل تراكم الطفرات تشير ضمنيًا إلى أنَّ ٤٠-٥٠ مليون سنة ليست وقتًا كافيًا على الإطلاق لإنشاء البنى التشريحية الجديدة الضرورية، التي ظَهَرَت في العصور الكامبرية والإيدياكارية. وسأتكلم عن تلك المعضلة بشكل أكثر تفصيلًا في الفصل الثاني عشر.

كانت الدراسات الإشعاعية حتى وقت قريب قد قدَّرت مدة التشعع الكامبري بـ٤٠ مليون سنة، وهي مدة وجيزة من الزمن بلسان الحال الجيولوجي، وصفها علماء الأحافير مسبقًا بـ(الانفجار)، وقد طَرحت فُجاءة الانفجار الكامبري النسبية -حتى ضمن القياسات القديمة لتلك المدة- أسئلة حاسمة حول كفاية الآليات الداروينية الجديدة، من ثم طرحت أسئلة أخرى فيما إذا كانت الداروينية على (فَهمٍ) بتاريخ الحياة يمكن توفيقه مع السجل الأحفوري الكامبري وما قبل الكامبري. لذا فإنَّ التعاملَ مع الإشعاع الإيدياكاري والكامبري على أنَّه حدثٌ تطوري مستمر -وهذا بحد ذاته ينضوي على افتراض غير واقعي ومتسامح- سيعيد المعضلة إلى حالتها السابقة؛ أي إعادة التأريخ ما قبل الزركوني.

نظرًا لكل تلك الأسباب، لم تُقدِّم لنا الأحافير ما قبل الكامبرية أي حل، بل شابكت خيوط اللغز حول أصل الأشكال الحيوانية أكثر مما كانت عليه، لكنّ قليلًا من علماء أحافير العصر الكامبري فكَّروا بشكل مختلف عن ذلك، وقد كنت على دراية تامة بما وصلوا إليه عندما كُنتُ أستعدُّ لأجيب عن الأسئلة ليلة سبتمبر ٢٠٠٩ في جامعة أوكلاهوما.

العجائب الإيدياكارية

إذن ماذا عن الزعم بأنَّ هناك أحافير إيدياكارية غريبة أخرى ربَّما كانت الأسلاف المحتملة للأشكال الحيوانية الكامبرية، إذا ما افترضنا بأنَّ الأشكال

الإيدياكارية المعروفة بشكلٍ جيد ك(ديكينسونيا وكارنيا وسبريجينا) ليست كذلك؟ هل تحل هذه الأشكال الغريبة لغز الانفجار الكامبري؟ منذ سنوات قليلة فقط، وقبل زيارتي لجامعة أوكلاهوما، كَتَبتُ مراجعة علمية بمساعدة بحثية من بعض الزملاء، من بينهم عالم أحافير وعالم أحياء بحرية، كان هو باول تشاين الذي ساعد في اكتشاف أجنة الإسفنجيات ما قبل الكامبرية، والتي ناقشناها في الفصل السابق.[٤١]

شرحتُ في تلك المراجعة العلمية العديد من المشكلات التي تواجه معاملة الحيوانات الإيدياكارية على أنَّها أشكال انتقالية وسيطة مذكورة –ذكرتها آنفًا–، وصادفت وزملائي في غضون إعدادنا للبحث العلمي حول المقالة القليلَ من علماء الأحافير الذين يعتقدون أن Parvancorina Arkarua (الشكل ٤–٢) أو Vernanimalcula تُمثِّلُ سلفًا مؤكدًا للكائنات الكامبرية متناظرة الجانبين أو مفصليات الأرجل أو شائكات الجلد. هل أغفلنا أمرًا ما؟

الحقيقة أنَّ كبار العلماء بقضية العصر الكامبري قد نفوا الارتباطات بين هذه الأشكال الأحفورية الغريبة والحيوانات الكامبرية، مع ذلك فقد أكَّدَ البروفيسور من جامعة أوكلاهوما يومها –في حديثه أمام الناس قبل عرض الفيلم– أنَّ الأحفورة الغامضة (إلى حد ما) التي عُثر عليها في تلال إيدياكارا والمسمَّاة Parvancorina تُمثّل سلفًا محتملًا لمفصليات الأرجل. يَصِفُ البعض بارفانكورينا بأنَّها أحفورة لشكل مدرع ذات حرف مرتفع يُشبه المرساة مثبت في أعلاها، فتُبدي بذلك تشابهًا ظاهريًا في شكلها مع ثلاثيات الفصوص، لذا زعموا بأنَّها ربَّما تمثل سلفًا لمفصليات الأرجل، لكن يشكِّك رواد علماء الأحافير الكامبرية بهذا الربط، فها هو عالمُ الأحافير جيمس فالنتاين يُجادلُ بأنَّ ال(بارفانكورينا) ليست سلفًا مقنعًا

لمفصليات الأرجل، والسبب وجيه، فأحفورة بارفانكورينا تَفتقد للرأس والأطراف المتمفصلة والأعين المركبة، وجميعها صفات مميزة لمفصليات الأرجل؛ لهذا صرَّح فالنتاين بأنَّ أحفورة بارفانكورينا "لا تُبدي أي خصال مشتركة" مع مفصليات الأرجل.[٤٢]



الشكل (٤–٢):

الشكل (٤–٢)a: (يسار) صورة لأحفورة Arkarua. بإذن من Taylor & Francis، Ltd.

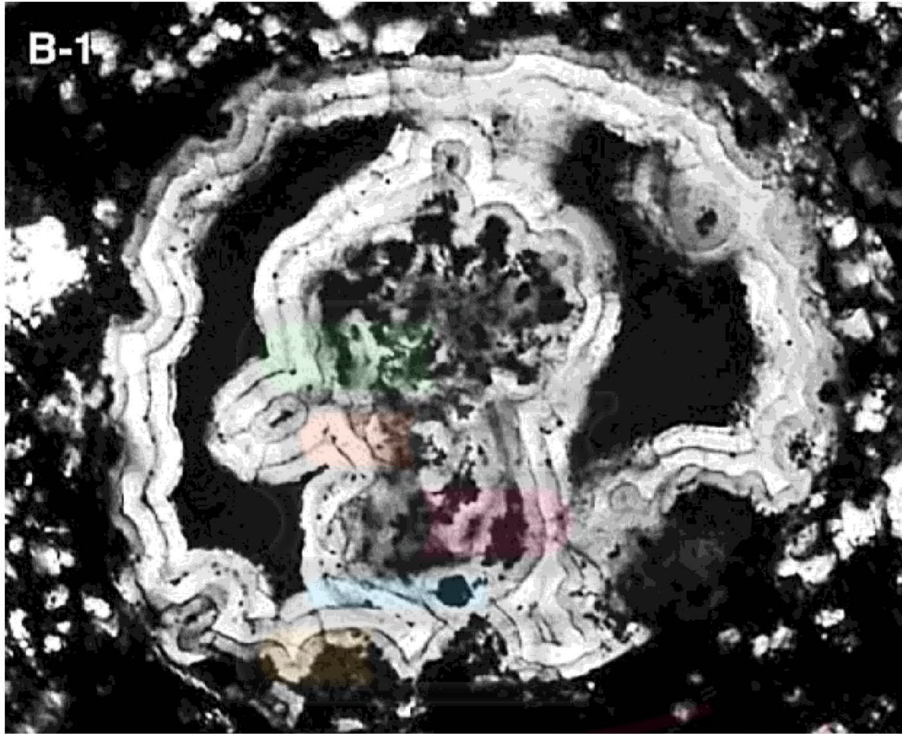
الشكل (٤–٢)b: (يمين) صورة لأحفورة Parvancorina. بالإذن من Peterson، K. J. وCotton، J. A. وGehling، J. G. وPisani، D. (الانبثاق الإيدياكاري لثنائيات الجانب: الانسجام بين الجينات وسجلات الأحافير الجيولوجية)، المداولات الفلسفية ضمن الجمعية الملكية B 2008، 363 (1496): 1435–43. الشكل٢ بإذن من الجمعية الملكية.

قدَّم فالنتاين الحجة ذاتها حول آثار كائنات شبه قرصية صغيرة سُمِّيت أركاروا Arkarua، وهي واحدة من أقدم الأشكال الإيدياكارية التي اِستشهَدَ بها بروفيسور جامعة أوكلاهوما في تلك الليلة في متحف سام نوبل. أوضح فالنتاين أنَّها تَعتقدُ أيضًا العديد من خصال الشعب الحيوانية التي تعزا لها. وبالفعل، إنَّ أولئك الذين يُقدِّمون أركاروا على أنَّها سلف للحيوانات الكامبرية عادة ما يزعمون بأنَّها تُمثِّلُ شكلًا بدائيًا من شائكات الجلد –كما فعل البروفيسور من أوكلاهوما–، حيث تتضمن شائكات الجلد كلا من نجم البحر، وحيوانات أخرى ذات تناظر خماسي يَمتد من تجويف جسمي مركزي.[٤٣] لاحظ البعض بنية خماسية دقيقة مقسَّمة داخل آثار دائرية خلفتها أركاروا، مما جعلها تبدو شبيهة ببعض شائكات الجلد الحالية إلى حدٍ ما، لكن سرعان ما ثبُتت سطحية تلك المشابهة، إذ لاحظ علماء أحافير آخرون بأنَّ أركاروا تَفتَقِرُ إلى الجسم الصلب ونظام التوعية المائية، واللذان هما معلمان تشريحيان مميزان لشائكات الجلد. من ثم فهي "لا تَملِكُ الخصال النوعية الواضحة لشائكات الجلد"[٤٤]، وجَادلَ فالنتاين بأنَّ غياب السمات الدلالية التي تُشيرُ إلى علاقة أركاروا بشائكات الجلد "يبقينا في حالة من عدم اليقين".[٤٥]

أمَّا في حالة فِرنانيمالكولا Vernanimalcula فالأمر أكثر تعقيدًا، لكنَّه يَحمل ذات الإشكال؛ فِرنانيمالكولا هو الاسم الذي أعطاه علماء الأحافير الصينيون لأثر في رسوبات الفوسفوريت عُثِرَ عليه في تشكيلات دوشانتو عام ٢٠٠٤، وقد عُثر على تلك البُنى في صخور يعود تاريخها إلى ما بين ٥٨٠-٦٠٠ مليون عام، مما يَجعلُ تلك الأثار أقدم من الطبقات الإيدياكارية، وتوقَّع عالم الأحافير David Bottjer –من جامعة جنوب كاليفورنيا– وعدد من العلماء الصينيين بأنَّ الآثار الخاصة بفِرنانيمالكولا ربَّما تكون بقايا لكائنات ثنائية الجانب.[٤٦]

تذكر أن الكائنات متناظرة الجانبين هي تلك التي تجد في وسط جسدها خطا منصّفا، وكل قسم فيها هو انعكاس مرآتي للآخر، بعكس الحيوانات المتناظرة شعاعيًا مثلًا.[٤٧] يُظهرُ الشكل (٤-٣) صورة لبنية فِرنانيمالكولا وُجِدَت في تشكيلات فوسفوريت دوشانتو، ويَعتقدُ بعضُ علماء الأحافير أنَّ فِرنانيمالكولا تُبدي تناظرًا ثنائي الجانب، وعليه فإنَّها ربَّما تكون سلفًا لتلك الكائنات التي ظَهَرت لاحقًا في الحقبة الكامبرية.

لكن ظَهرت مشاكل مع هذا الطرح، أوَّلها أنَّ أشكال فِرنانيمالكولا لا تُبدي أي تشابه مع أي نوع محدد من الكائنات متناظرة الجانبين، بالإضافة إلى أنَّ التحليل العلمي الحديث أثار أسئلة حول هذه البقايا، فيما إذا كانت تلك الآثار تَعودُ لبقايا حيوانات أصلًا، فضلًا عن أن تكون أحد متناظرات الجانبين. على سبيل المثال، في عام ٢٠٠٤ نَشرَ الخبيران في علم الأحافير والعصر الكامبري ستيفان بينغستون Stefan Bengtson وغراهام باد Graham Budd تحليلًا كيميائيًا ومجهريًا مفصلًا لهذه الأحافير في مجلة Science[٤٨]، واستنتجا أن تلك البُنى المحفوظة في صخور الفوسفوريت قد خَضَعت من قبل لتبدلات مهمة تعرف بالتصلد diagenesis والتافونومية. تُشيرُ كلمة التصلد Diagenesis بشكلٍ أساسي إلى عملية التحوُّل الكيميائي التي تَحصلُ بعد الترسب وقبل التصلب الكامل للصخور المترسبة بشكلٍ كامل -مرحلة الانتقال إلى طبقة الليثوسفير الأرضية بعد أن كانت في طبقة البيوسفير lithified-، كما يُشيرُ مصطلح العمليات التافونومية Taphonomic processes إلى تلك العمليات التي تغير المتعضي بعد دفنه وحفظه في الترسبات.



الشكل (٤–٣): صورة لأحفورة فِرنانيمالكولا. بالإذن من الرابطة الأمريكية لتطوير العلوم، من قبل Chen، .J.-Y و Bottjer، .D. J و Oliveri، .P و Dornbos، .S. Q و Gao، .F و Ruffins، S: "أحفورة صغيرة ثنائية الجانب منذ حوالي ٤٠–٥٥ مليون عام قبل العصر الكامبري" مجلة Science، 305 (٩ تموز 2004): 218–22، تم إعادة طبع الشكل b 1 بالإذن من AAAS.

رفض كل من بنغتسون وباد وفقًا لتحليلهم المجهري الفرضية القائلة بأنَّ هذه البُنى تَعودُ لشكل حيواني محفوظ، واحتجَّا بأنَّ الآثار الفوسفوريتية تُبدي خصالًا مميزة لبقايا الأحافير الميكروية وحيدة الخلية المعدلة كيميائيًّا، والتي قد غطتها طبقات من البقايا الكيميائية الناشئة عن عمليات التصلد.[٤٩]

مؤخرًا، في العام ٢٠١٢، نشر بنغتسون وزملاؤه ورقة بحثية أخرى تَنتقدُ بوضوح أكبر وجهة النظر القائلة بأنَّ (فِرنانيمالكولا) تُمثِّل سلفًا للحيوانات متناظرة الجانبين، أو إن كانت من الحيوانات أصلًا، فقد أثبتوا أنَّ "البُنى الأساسية المميزة للحيوانات هي من تأثير التمعدن الذي لا يمثل الأنسجة الحيوية"، ولهذا السبب استنتجوا غياب أي أساس ظاهر لتفسير فِرنانيمالكولا على أنَّها حيوانات، ناهيك عن أن تكون ثنائية الجانب.[٥٠]

رغم أنَّ الورقة قد عنونت بـ(الموت الرحيم لفِرنانيمالكولا، طليعة متناظرات الجانبين A Merciful Death for the Earliest Bilaterian, Vernanimalcula)، لكن الكاتب لم يكن رحيمًا على الإطلاق في طرحه لحجته، فقد وبَّخت مقالته دافيد جاي. بوتشير David J. Bottjer –أبرَزَ عالم أحافير تبنى فكرة أن الفِرنانيمالكولا سلف لثنائيات الجانب–، لأنَّه أرى نفسه ما تشتهي وتجاهل الأدلة الواضحة على التمعدن اللابيولوجي، حيث قام بوتشير في مقالة نشرها عام ٢٠٠٥ في مجلة Scientific American بتفسير فِرنانيمالكولا على أنَّها "أقدم أحفورة حيوانية مكتشفة لكائن ذي جسد متناظر الجانبين"، وزعم في تلك المقالة بأنَّ فِرنانيمالكولا تؤكد "الشكوك بأنَّ الحيوانات المعقدة تَملِكُ جذورًا أعمق في الزمن"، و"أنَّ العصر الكامبري لم يَشتَمِل على انفجار كبير، بل هو ازدهار غير مسبوق للحياة الحيوانية".[٥١] بعد رفض تفسيرات بوتشير غير المقنعة بناءً على تحليلات جيوكيميائية، وبَّخ بنغتسون وزملاؤه (بوتشير) في نشرتهم بشكلٍ شخصي إلى حدٍ ما قائلين:

"من المرجَّح أنَّ الأحفورات المشار إليها بفِرنانيمالكولا قد فُسِّرت على أنَّها من ثنائيات الجانب، وكان ذلك استغلالًا واضحًا من قبل

المؤلف، فإذا كنت أيها المؤلف تعلم منذ البداية ما تبحث عنه وما الذي تريد أن تجده فستجده، سواء كان موجودًا أم لا. ويحسن هنا ذكر كلمات ريتشارد فاينمان الشهيرة (١٩٧٤): المبدأ الأساسي هو ألا تخدع نفسك، لأن نفسك أسهل من يمكن خداعها. وعندما تخدع نفسك ستخدع العلماء الأخرين".[٥٢]

ذَكَرَ بنغتسون وزملاؤه أنَّ قلة من علماء الأحافير مثل بوتشر يرغبون بإضفاء دلالة تطورية على فِرنانيمالكولا، في محاولة لتخفيف الفجوة في معرفتنا بالانفجار الكامبري، إلا أنَّهم -بنغتسون وزملاؤه- يُصرُّون على أنَّ الدليل ينوء بحمل هذا التفسير الضخم الملقى على عاتقه؛ لذا فقد خلصوا إلى ضرورة قتل فِرنانيمالكولا "قتلًا رحيمًا" لأن تفسيرها قد عاش حياة لم يكن له أن يعيشها أصلًا.[٥٣]

معضلة أدهى وأمر

لم أكُن في عام ٢٠٠٩ على علم بالتحليل النقدي للادِّعاءات المتعلقة بـ(فِرنانيمالكولا) كشكل حيواني، وكذا كان جوناثان ويلز، لكنَّنا علمنا برفض العديد من علماء الأحافير لمحاولة تعريفها على أنها من الحيوانات، لذا وأثناء فقرة الأسئلة التي تلت الفيلم، شرح ويلز سبب فشل هذه الأحفورة -وغيرها من الأحافير الغريبة ما قبل الكامبرية- في أن تصل لأن تكون طلائع لأي من الحيوانات الكامبرية بشكلٍ مقنع، واستشهد بعمل رواد علم الأحافير، حيث وضح في كل حالة سطحية التشابهات بين الأشكال الإيدياكارية والحيوانات الكامبرية التالية، ذلك لأنَّ الأشكال الإيدياكارية تَفتَقِدُ للعديد من الخصال الأساسية المميزة لشعبٍ كامبريةٍ محددة.

في الوقت ذاته، وبينما كُنت أتفكَّرُ في المحاضرة أدركت مشكلة أكبر تواجه محاولات حل لغز الانفجار الكامبري بتسليط الضوء على قلة من الأحافير ما قبل كامبرية، فقد افترض العديد من المدافعين عن التصوُّر الداروني لتاريخ الحياة بأنَّ اكتشاف أي من الأشكال ما قبل الكامبرية المزعومة سيحل من لغز الانفجار الكامبري مهما كانت علاقتها السلفية مع حيواناتٍ كامبرية محددة لا معقولة، ومهما توزَّعت بشكل ضعيف في التسلسلات الواسعة من الطبقات ما قبل الكامبرية، خصوصًا إن كانت تلك الأشكال تُبدي بعض المميزات العمومية المجردة كالتناظر الموجود لدى ثنائيات الجانب.

ولكي ترى الخلل في طريقة التفكير تلك، تخيَّل لو أنَّ سباحًا ماهرًا طموحًا زعم أنَّ بالإمكان السباحة من كاليفورنيا إلى هاواي في غضون عدة شهور أو سنوات، وبسبب حاجته للجزر الصغيرة التي تُمثل محطات على الطريق يَستطيعُ فيها الأكل والراحة في كل ليلة من ليالي الطريق في رحلته الماراثونية، لابد أن يرينا وجود أرخبيل الجزر المتوزعة على مساره بين كاليفورنيا وهاواي بشكل منطقي، لكنه بدلًا من ذلك يقوم بالإشارة إلى الجزر المرجانية القاحلة في جنوب المحيط الهادي بعيدًا عن أي مسار يؤدِّي إلى هاواي! واضح في تلك الحالة أن مسار سبَّاحنا البطل المفترض لن يكون ذا موثوقية. بصورة مشابهة، فإنَّ مزاعم أولئك الذين جزموا بأنَّ الأشكال الحياتية المعزولة والغريبة تشريحيًا في العصور ما قبل الكامبرية ستحلُّ معضلة الانفجار الكبير تَفتقدُ أيضًا إلى الموثوقية.

ولنقدر جانبًا آخر من هذه المعضلة، دعونا نعُد إلى المزاعم التي أثيرت حول فِرنانيمالكولا بأنَّها سلف محتمل لكل شعب ثنائيات الجانب، فلكي يتأهَّل شكل كهذا ليصبح سلفًا مشتركًا لعددٍ كبير من الشعب المحددة –كالشعب المتعددة من

ثنائيات الجانب، والتي ظَهَرت في العصر الكامبري- لابد أن يُبدي الخصال الأساسية للشعبة: كالتناظر بين قسميها، والمرور بمرحلة الأرومة الثلاثية triploblasty، وهي وجود ثلاث طبقات مميزة (الأَديمُ الباطِن endoderm والأديم المتوسط mesoderm والأديم الظاهر ectoderm). لكن وفقًا للتعريف في الوقت عينه، لا يُمكنُ لأي مرشح صالح للقيام بدور السلف المشترك أن يُظهر أيًّا من خصال التمايز التي تُميزُ أفراد الشعب الكامبرية ومخططات أجسامها عن بعضها. فعلى سبيل المثال، لا يُمكن لأي كائن متناظر الجانبين يَملك هيكلًا عظميًا خارجيًا كالذي تتميز به مفصليات الأرجل أن يكون سلفًا معقولًا للحبليات chordate، لأنَّ الحبليات تَمتلك هيكلًا عظميًا داخليًا (قردود notochord).[1] يَمنعُ المنطق الذي صمِّمت عليه هذه الأجسام المتمايزة من المشاركة بين كلا الخصلتين التشريحيتين المذكورتين، لهذا السبب لا يمكن وجود أي سلف مشترك افتراضي متناظر الجانبين إلا إن كان يَمتلك القاسم المشترك الأصغر تشريحيًّا، أو كما يسمِّيه خبراء البيولوجيا التطورية "المخطط الأساسي"، حيث يَمتلك فقط تلك الخصال القليلة التي تُعدُّ مشتركةً بين كل الأشكال الحيوانية التي يُزعم بأنَّها قد تطورت عنه.

لكنّ هذا يَضعنا أمام معضلة جديدة، فلو كانت الأشكال الأحفورية بسيطة بما فيه الكفاية لتلاقي مواصفات الأصل المشترك لكائنات شعبة ثنائيات الجانب عالية التمايز، عندئذ سوف تفتقد بالضرورة معظم الخصال التشريحية المهمة

(١) الحبل الظاهري، يتشكَّلُ أثناء المرحلة الجنينة ويتحوَّل فيما بعد إلى العمود الفقري. (المترجم)

المميزة لتلك الشعبة، وهذا يَعني أنَّ على كل الأشكال التشريحية الحديثة التي تُميِّزُ شعبة عن أخرى أن تَظهرَ بعد تَفرُّعِ الخطوط عن السلف المشترك المزعوم بعد ظهور أصلها في السجل الأحفوري، إذن يجب على كل من الرأس والأطراف المفصلية والأعين المركبة والأمعاء والشرج وقرون الاستشعار والقردود والستيريوم stereoms[١] والـlophophores –أعضاء تغذية مجسية– والعديد من الخصال المميزة للعديد من الحيوانات المختلفة أن تأتي في وقت لاحق في العديد من خطوط الذرية المتفرعة. مع ذلك فإنَّ الأصلَ التطوُّري المتدرِّج لهذه الخصال غير موثق في السجل الأحفوري ما قبل الكامبري، فلا نجِدُ هذه الخصال إلى أن تظهر بشكلٍ مفاجئ في الانفجار الكامبري.

لهذا السبب، فإنَّ الأحافير المميزة كفِرنانيمالكولا –إن أخذناها على أنَّها ممثل لسلف مشترك للعديد من ثنائيات الجانب– لا توثِّقُ إلا قليلًا من القصة الداروينية حول تاريخ الحياة الحيوانية، وستظلُّ الفجوات الضخمة في السجل الأحفوري على حالها؛ لأنَّ السجل الأحفوري ما قبل الكامبري لا يوثِّقُ الظهور التدريجي للخصال المميزة والفاصلة بين الكائنات الكامبرية، بل على حين غرة تظهر كل البُنى التشريحية المهمة والجديدة التي تميز الشعب الكامبرية، وكذلك كل الكائنات التي تمثل هذه البُنى بوضوح.

لكي تقول بأنَّ شكلًا مثل فِرنانيمالكولا، أو أي شكل إيدياكاري غير مميز، يحلُّ معضلة السجل الأحفوري المفقود ما قبل الكامبري فهذا سيكون بمثابة القول بأنَّ الأسطوانة المعدنية هي كل الخطوات المطلوبة التي تؤدِّي لبناء مُحمِّصة الخبز

---

(١) مواد كلسية تكون الهياكل الداخلية عند شوكيات الجلد.

والسيارات والغواصات والطائرات النفاثة، لأن كل هذه الأدوات التقنية مغلفة بغلاف معدني، بالفعل وجود هذا السطح المعدني المغلق هو شرط لازم فقط، لكنَّه غير كافٍ على الإطلاق لنشوء هذه الأنظمة التكنولوجية المختلفة. بشكلٍ مشابه، من الصعب حلّ معضلة انقطاع السجل الأحفوري حتى وإن تمَّ العثور على شكل حياة بسيط، وإن كان من متناظرات الجانبين بوضوح، ذلك لأنَّه لن يُوثِّقَ ظهور الخصال الفريدة للأفراد الحيوانية ثنائية الجانب من تلقاء نفسه.

ذلك التناقض معلوم بشكلٍ جيد لدى علماء الأحافير الذين يَعملون على فَهمِ التشعع الكامبري، وقد وَصفَ كل من تشارلز مارشال وجيمس فالنتاين صعوبة توصيف المجموعات "غير الوصفية"، ويعنيان بذلك المجموعات الموجودة في جذع الشجرة التطورية، والمفتقدة للخصال المميزة لذرياتها التطورية المفترضة، وكتبا:

> "عندما تُحاول كشف أصل الشعب الحيوانية... فإنَّ الفحصَ الأصعب هو في المرحلة القابعة بين التفرع الحقيقي لسلف الشعبة phylum cladogenic والزمن الذي استغرقته للحصول على أوَّل خصالها النوعية الخاصة بها. فحتى لو كان بين أيدينا أشكال أحفورية توثِّقُ هذه المرحلة من تاريخ الشعبة فلن نكون قادرين على إثبات قرابتها مع الشعب الأخرى".٥٤

وعليه فحتى إن كانت فِرنانيمالكولا –أو أي شكل أحفوري آخر– بسيطة وشبيهة بالحيوانات بما فيه الكفاية لتسمَّى شكلًا حياتيًا حيوانيًا بدائيًا ur فإنَّها لن

تكون قادرة، لهذا السبب بعينه عليها إثبات نفسها كسلف مشترك واضح لبعض الشعب الكامبرية المحددة.

كما أنَّنا لا نجد الإجابة المرضية في الاتجاه الآخر أيضًا، فإن كان الشكل السلفي يُبدي الخصال المميزة لواحدة من الشعب الكامبرية -لنقل على سبيل المثال أن فِرنانيمالكولا أو غيرها من الأشكال الأخرى المعزولة تُبدي خصالًا تقنعنا بمشابهتها لمفصليات الأرجل أو الحبليات أو شائكات الجلد- عندئذ سيعيق وجود هذه الخصال -بالضرورة- احتمالُ تمثيل هذا الشكل الحيواني لسلف يَجمعُ كل الأشكال الكامبرية الأخرى، وكلَّما أبدَت الأشكال الحيوانية خصال أحد الشعب أو المجموعات ضمن الشعبة، كانت أقل إقناعًا في تصنيفها كأصل حيواني لباقي الشعب الحيوانية.

هذا هو لب المعضلة، لا يُمكنُ للأشكال قبل الكامبرية عالية التمايز والتعقيد أن تكون أسلافًا مشتركة لكل الشعب الكامبرية من تِلقاء نفسها، في الوقت نفسه لن تَتركَ الأشكال البسيطة -غير المتمايزة بما فيه الكفاية، والتي يمكن الزعم بكونها أسلافًا لكل الشعب الكامبرية- أيَّ دليل على الظهور التدريجي للابتكارات التشريحية المميزة للحيوانات الكامبرية. في الحالتين، سواء سمعنا الادِّعاء بأنَّ الأسلاف ما قبل الكامبرية هي أشكال بسيطة وغير متمايزة إلى حدٍ ما، أو معقدة وعالية التمايز، فإنَّ السجل الأحفوري ونمط تقطعه المتكرر لا يُثبتُ حدوث تطوُّر تدريجي للأشكال التشريحية الكثيرة والأنماط الظاهرية الجديدة، ولن يكون كفيلًا بسدِّ هذا العجز إلا توثيق سلسلة واحدة صحيحة بدءا من السلف الحيواني الحي ومرورًا بالأشكال الوسيطة الانتقالية للسمات التشريحية المميزة المبتكرة، بما في

ذلك الحيوانات الكامبرية، وهو بالتحديد ما يَعجَزُ السجل الأحفوري ما قبل الكامبري عن توثيقه.

يصرِّحُ كل من غراهام باد وسورن يانسن بالقول: "لم نَفهَم السجل الأحفوري الكامبري وما قبل الكامبري خطأً، وليس هنالك أي مرشح ثنائي الجانب معروف ومقنع في السجل الأحفوري وصولًا لبداية العصر الكامبري –قرابة 543 مليون عام مضى–، بالرغم من وجود الكثير من الترسبات الأقدم والقادرة على أن تَكشفهم لنا".[٥٥] فاستنتجا: "لم يَتَحقق النمط الداروينى المتوقَّع لتاريخ الأحافير العميقة لثنائيات الجانب، والمتوقَّع أن تُبدي تطورًا تدريجيًا ممتدًا على مدى ملايين السنين ما قبل الكامبرية".[٥٦]

المعضلة معروضة

أثناء فقرة الأسئلة والأجوبة التالية لعرض فيلم (معضلة داروين)، لم يَعتَرِض أحدٌ من الحضور –سواء طلاب الدكتوراه من جامعة أوكلاهوما أو طلابها الحاضرين في المحاضرة التي رعاها متحف الجامعة– على ما ذكره زميلي جوناثان ويلز عندما شَرحَ أسباب عدم اِعتِقاد علماء الأحافير بسلفية الأشكال الغريبة ما قبل الكامبرية للأشكال الكامبرية، وقد بدا هذا الشلل غريبًا نوعًا ما، نظرًا للتركيز الذي منحه خبير المتحف على هذه المزاعم، ونظرًا إلى القطعية التي منحها لتلك المزاعم إلى حدٍ ما في البناء ذاته أمام الناس أنفسهم قبل ثلاث ساعات فقط.

في رحلتنا الجوية خارجين من البلدة في اليوم التالي أخبرني جوناثان ويلز بأمرٍ أضْفى لخبرتنا شيئًا هناك، فقد سنحت له الفرصة أن يَمشي في أرجاء متحف سام نوبل للعلوم بعد المحاضرة وقبل أمسيتنا ليكتشف أنَّ المتحف لديه واجهة

يتَّضح فيها بجلاء مقدار أزمة ما أسميناه بمعضلة داروين، سجل ويلز بدوره بعضًا من تلك المشاهدات أثناء العودة إلى سياتل، ويَستحق شيء مما رآه هناك وكتبه عن ذلك أن نقتبسه كاملًا وإن كان مطولًا:

"يبدو بأنَّ العرض دقيق من الناحية الأكاديمية في معظم أجزائه، ويؤكد –من بين عدة أمور أخرى– أنَّ العديد من أحافير الانفجار الكامبري كانت ذات أجسام رخوة، وهذا يَنزِعُ شرعية العذر الشائع حول غياب الطلائع السلفية من السجل الأحفوري بافتقادها للأجزاء الصلبة، كما وضَّح العرض انقراض الأحافير الإيدياكارية في نهاية العصور ما قبل الكامبرية، لذا –باستثناء قلة محتملة– فلن يَكونَ ممكنًا لها أن تصير أسلافًا للشعب الكامبرية. اِستَرعت انتباهي لوحة خاصة في العرض أظهرت وجود مجموعة كبيرة من الشعب الكامبرية على قمَّة شجرة متفرعة متحدة الجذع، لكنّ أيًا من نقاط التفرع تلك لا ترتبط بأشكال حيَّة حقيقية، بل تُشيرُ نقاط التفرع فوق ذلك إلى الفئات التفصيلية المصطنعة كـ(الانسلاخيات Ecdysozoa والعجلانات العرفية Lophotrochozoa وثنائيات الفم Deuterostomia وثنائيات الجانب Bilateria)، وقد أكدَّت اصطناعية تلك النقاط التفرعية أنَّ النمط الشجري المتفرع المغروض على الدليل الأحفوري ذو بنية مصطنعة زائفة".

بعد كل هذا الجدال الحاصل تبيَّن أنَّ المتحف الذي رعى المحاضرة التي تنفي معضلة داروين الكامبرية هو نفسه من يَملِكُ واجهة عرض رائعة يظهر فيه غياب الأشكال السلفية المحتملة للحيوانات الكامبرية من السجل الأحفوري ما قبل الكامبري، وهي الأشكال نفسها التي أمّل داروين أن نجدها منذ مائة وخمسين

عاما خلت، لكن إذا كان الأمر كذلك، فلِمَ قام المتحف برعاية ذلك العرض؟ أفترض أنَّه من الصعب عليّ الإقرار برؤية هذه الديناميكية من قبل في نقاش حول التطور الداروني. يَعترفُ البيولوجيون التطوريون بالمعضلات لبعضهم البعض في المجموعات العلمية بينما يقومون بإنكارها أو تصغيرها على العلن خشية مساعدة وتشجيع الخلقيين المروّعين وغيرهم إذا ما رأوا الحالات المتزايدة من الشكِّ، وربَّما يكون وجودنا في الحرم الجامعي وحده وإثارتنا الأسئلة حول الداروينية المعاصرة الأمر الذي جعلهم يتخذون موقفًا دفاعيًّا بالنيابة عن (العلم)، وهو ردُّ فعل بشري يُمكنُ تفهمه، وإن كان من سخرية القدر، لكنَّه في النهاية سيحرم الجمهور من الوصول إلى ما يَعرفه العلماء حقا، كما أنَّه سيخلّد الانطباع حول التطور البيولوجي على أنَّه العلم الذي حلّ كل الأسئلة المهمة، في وقت كانت فيه العديد من الأسئلة الجديدة المثيرة- حول نشوء الأشكال الحيوانية على سبيل المثال- تتقدَّمُ إلى الأمام.

الفصل الخامس

هل تُخبرنا الجينات بالقصة؟

هل تُخبرنا الجينات بالقصة؟

تُوجد الكثير من القواسم المشتركة بين عملية إعادة بناء التاريخ وعمل رجال التحريات، إذ يَتعذَّر على هؤلاء وعلى علماء البيولوجيا التطورية مشاهدة الأحداث الماضية قيد الدراسة؛ فمثل حالة متحري الجرائم الذي لا يَراها عادةً أثناء وقوعها، كذلك لم يَشهَد علماء البيولوجيا التطورية نشوء الحيوانات والمجموعات الأخرى من أسلافها، وهذا العائق لا يَعني أنَّ كلا الفريقين من المحققين يفتقدان أدلَّة تحدِّد ما حَصلَ بدرجة ما من الثقة، فرجال التحري وخبراء البيولوجيا التطورية إضافة إلى العديد من علماء التاريخ الآخرين -كعلماء الأحافير والجيولوجيا وعلماء الآثار وعلماء الكونيات وعلماء الطب الشرعي- يَستندون دوماً إلى الاستدلال الدقيق من القرائن أو الدلائل المتروكة.

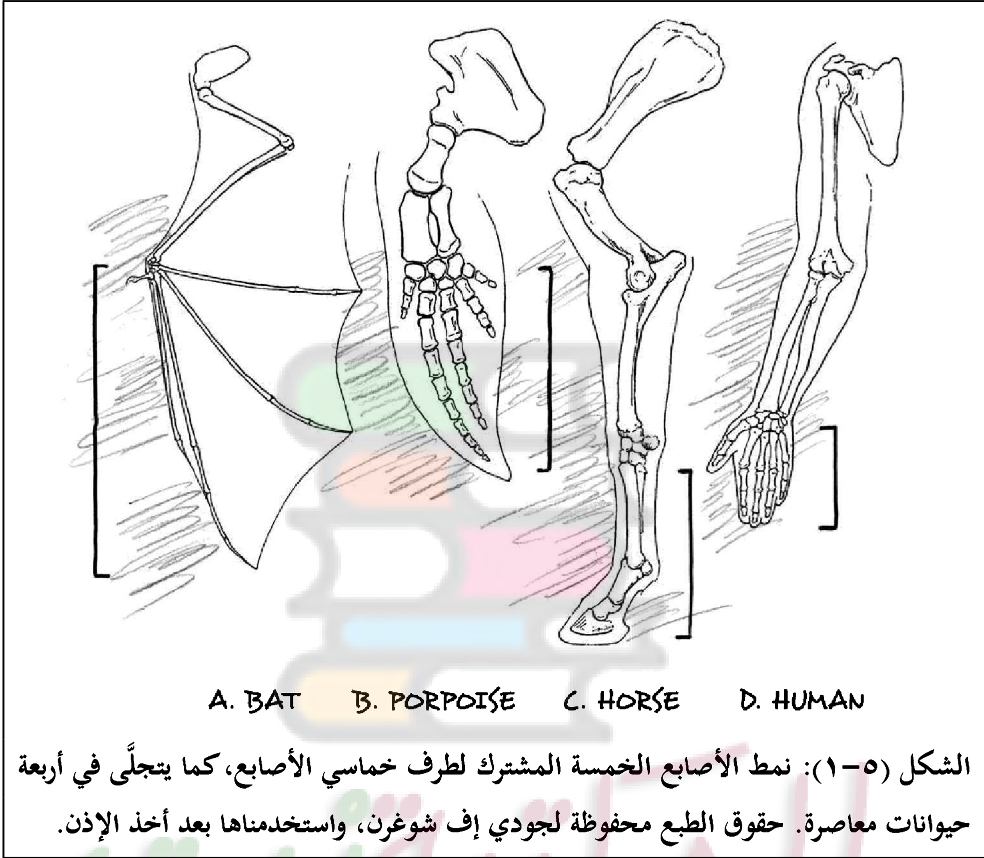
يَذكرُ كثيرٌ من علماء البيولوجيا التطورية الطبيعةَ الجنائية لعملهم، ووفق تعبير ريتشارد دوكنز: "لقد استخدمت التشبيه بمتحرٍ أتى إلى موقع الجريمة بعد وقوعها ليَعمل على إعادة تركيب الأمر الذي لا بد أنَّه حصل، معتمدًا على ما تبقَّى من قرائن".[١]

قد تكون الأحافير أوضح الآثار الباقية من الحياة القديمة، لكن كثيرًا من علماء البيولوجيا الجزيئية وعلماء الأحافير يَسعون إلى الحصول على أنواع أخرى من القرائن تُثبت الظهور التدريجي للحياة الحيوانية الكامبرية من سلف مشترك، بعد إدراكهم أنَّ سجل الأحافير ما قبل الكامبري لا يؤكد ما حَلِمَ به داروين.

في غِمار هذه الجهود تَبعَ علماءُ البيولوجيا الجزيئية المعاصرون مثال داروين نفسه، فرغم مجادلة داروين بوجود تناغم جيد للتوالي العام انطلاقًا من أشكال

الحياة الأبسط إلى أشكال أكثر تعقيدًا في السجل الأحفوري مع نظريته، إلا أنَّه في الواقع أدرك أن تَقطع السجل الأحفوري لا يوافق نظريته، وبالأخصِّ في البيانات الكامبرية وما قبل الكامبرية، فأكَّد على ضرورة وجود أنواع أخرى من الأدلة لإثبات نظريته في الأصل العام المشترك.

في فصلٍ شهير من كتابه أصل الأنواع بعنوان (الصلات المتبادلة الخاصة بالكائنات العضوية) لم يَطرح داروين قضيته على أساس الدليل الأحفوري، إنَّما على أساس البُنى التشريحية المتشابهة للعديد من الكائنات المختلفة، فلاحظ مثلًا أنَّ الأطراف الأمامية للضفدع والخيول والخفافيش والبشر والعديد من الفقاريات الأخرى تَظهرُ تنظيمًا أو بنية مشتركة خماسية الأصابع (الشكل ١–٥)، ولشرح هذه التناظرات –كما سمَّاها– افترض داروين سلفًا فقاريًا بأطراف خماسية الأصابع بدايةً، ومع تطوُّر مجموعة الحيوانات الفقارية من هذا السلف المشترك اِحتَفظ كل منها بالنمط الأساسي لتنظيم الأصابع الخمس بطريقته الخاصة. بالنسبة لداروين فإنَّ نظريته (النشوء والارتقاء) تَشرح هذه التشابهات أفضل بالمقارنة مع وجهة نظر العديد من علماء بيولوجيا القرن التاسع عشر الأقدم مثل لويس أغاسيس أو ريتشارد أوين، إذ اعتقد كلا العالمين أنَّ التناظرات تَعكس خطة التصميم المشترك لذكاء مبدع.



الشكل (٥–١): نمط الأصابع الخمسة المشترك لطرف خماسي الأصابع، كما يتجلَّى في أربعة حيوانات معاصرة. حقوق الطبع محفوظة لجودي إف شوغرن، واستخدمناها بعد أخذ الإذن.

يؤكِّد معظمُ علماء البيولوجيا التطورية اليوم على أهمية التناظر homology في إعادة بناء التاريخ التطوري للحياة، إذ يفترضون أنَّ التشابهات في التشريح وفي تسلسل الجزيئات الكبيرة –التي تَحملُ المعلوماتِ مثل DNA وRNA والبروتين– تُشيرُ بقوةٍ إلى وجود سلف مشترك[٢]، كما يَفترضون أيضًا التناسب الوسطي لدرجة اختلاف هذه الحالات مع الزمن المنقضي بعد الانفصال عن السلف المشترك، وكلَّما كان الاختلاف في السمة المشتركة –أو التسلسل الجزيئي– أكبر، كان السلف الذي نشأت عنه السمة –أو التسلسل– أقدم.

يَستخدمُ علماءُ البيولوجيا التطورية هذا النهج لمحاولة تمييز التاريخ التطوُّري للحيوانات الكامبرية، وبسبب تعذُّر اكتشاف أسرار التطور قبل الكامبري عبر دراسة سجله الأحفوري، يَميلُ التفكير حاليًا إلى اعتبار أنَّ دراسة التشريح المقارن والتناظرات الجزيئية ستَكشِفُ ذلك، ونظرًا للعقبات الكَؤود المرافقة للأدلَّة الأحفورية يؤكِّد العديدُ من علماء البيولوجيا التطورية حاليًا على أهمية القرائن من علم الوراثة الجزيئية بالأخصِّ، كما ذَكرَ ذلك عالم البيولوجيا التطورية جيري كوين من جامعة شيكاغو: "نَملك حاليًا طريقةً قويةً وحديثة ومستقلة لإثبات السلف؛ إذ يُمكننا النظر مباشرة إلى الجينات نفسها، وبمعرفة تسلسل DNA في جينوم العديد من الأنواع وقياس مدى تشابه هذه التسلسلات يُمكننا إعادة بناء صلاتها التطورية".[٣]

ويوجد لهذا المسعى جانبان: يحاول العلماء في الجانب الأول التحقق من زمن عيش السلف المشترك للأشكال الحيوانية الكامبرية عَبرَ تحليل جينات الحيوانات الموجودة التي تُمثِّلُ الشعب التي نشأت بداية في العصر الكامبري، وقد ولّدت هذه الجهود ما يُعرف بـ(فرضية التباعد–العميق)، والتي تَرى بأنَّ السلف المشترك لكل الحياة الحيوانية نشأ قبل فترة طويلة من الانفجار الكامبري. على الجانب الثاني يُحاولُ البيولوجيون من خلال تحليل التشابهات التشريحية والجزيئية إعادة بناء شجرة الحياة الكامبرية وما قبل الكامبرية، أي رسم خريطة مسار التطوُّر خلال الفترة المختفية قبل العصر الكامبري.

يؤكِّد المدافعون عن الداروينية الحديثة على أنَّ هذه التقنيات قد أنتجت صورة تطورية متماسكة للتاريخ المبكر للحياة الحيوانية، وأنَّ أدلة علم الوراثة تُشيرُ دون أدنى شكّ إلى الأشكال السلفية قبل الكامبرية وإلى تاريخ تطوري فَشِلَت الأحافير في توثيقه.

سنَختَبِر في هذا الفصل ما تُخبرنا به الجينات حول السلف المشترك العام المزعوم لجميع الحيوانات، وسننظر في الفصل القادم إن كان تحليل الجينات والسمات الأخرى للكائنات يُنتج صورة شجرية متماسكة للحياة الحيوانية في عصور ما قبل الكامبرية، فقد كشفت التحاليل الجينية في الواقع عن مجموعة نفيسة من الأدلة. والسؤال: هل تُثبتُ هذه الإشارات الجينية وجود الأسلاف ما قبل الكامبرية وتاريخها الذي فشلت الأحافير في إثباته؟ أم يوجد تسرعٌ في الحكم كما يحصل أحيانًا في التحقيقات الجنائية؟

التباعد العميق

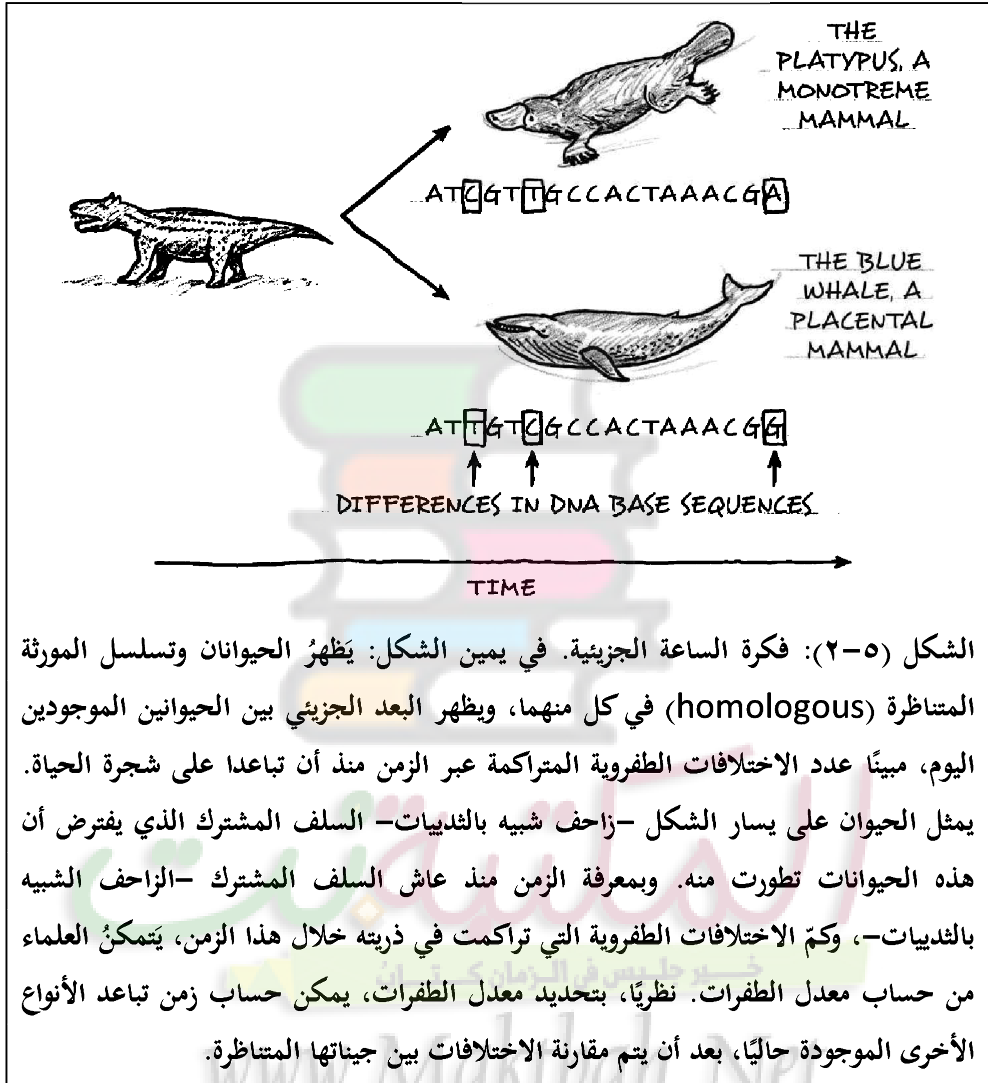
يَعتَرِفُ الآن كثيرٌ من علماء الأحافير والبيولوجية التطورية بفقدان الأحافير ما قبل الكامبرية "التي سعوا زمنًا طويلًا وراء إيجادها، وتُعَدُّ ضرورية لتوثيق قصة داروين عن أصل الحياة الحيوانية"[٤]، والعلماء صريحون في ذلك، خاصة عند التخاطب مع بعضهم في المنشورات العلمية التقنية المراجعة من الأقران peer-reviewed، ورغم هذا غالبًا ما يَطرحُ المدافعون عن العقيدة التطورية التقليدية احتمالية أخرى تقول أنَّ السلفَ المشترك للحيوانات الكامبرية في نهاية المطاف موثّقٌ تمامًا، لكن ليس عبر الدليل الأحفوري، إنَّما بالدليل الجزيئي أو الجيني لِمَا يُدعى بـ(التباعد العميق) للحياة الحيوانية، واعتمادًا على مثل هذه المزاعم فإنَّ علماء البيولوجيا هؤلاء يُفضِّلون الدليل الجزيئي على أدلَّة السجل الأحفوري بشكلٍ واضح.

لا ينكر أنصار التباعد العميق ما يَظهرُ من قصور الأدلة الأحفورية، ويتبنون إحدى نسخ فرضية الأحافير المخادعة بديلًا لتفسير الأدلة المفقودة، فيجادلون بعدم وجود (انفجار) للأشكال الحيوانية في العصر الكامبري، لكنّه تاريخ طويل من

الاندماج والتنويع استمر ملايين السنين وأدَّى لما يبدو ظاهريًّا أنَّه انفجار للحياة الحيوانية في العصر الكامبري، إلا أنَّ هذا التاريخ التطوري كان خفيًا في السجل الأحفوري. كما يُجادلون أيضًا بأنَّ الأدلة الجزيئية تُثبتُ وجودَ فترة طويلة من التطور الخفي غير المكتشف خلال العصور قبل الكامبرية، انطلاقًا من كائن سلفي مشترك للحياة ما بين ٦٠٠ مليون إلى ١.٢ بليون سنة، حسب دراسة البيانات الجينية الجزيئية التي يَستشهدون بها. وإن صح ذلك فكائنات العصر الكامبري قد أمضت مئات الملايين من السنين لتتطور من سلف مشترك.[٥]

الساعة الجزيئية The Molecular Clock

يَستعملُ دعاة التباعد العميق طريقةَ تحليلٍ تُدعَى بالساعة الجزيئية، حيث تفترض دراسات الساعة الجزيئية أنَّ مدى اختلاف التسلسلات في جينات متشابهة من حيوانين أو أكثر يَعكسُ مقدار الوقت الذي مَضَى منذ أن بدأت هذه الحيوانات بالتطوُّر من سلف مشترك، فالاختلاف الطفيف يعني زمنًا قصيرًا، والاختلاف الكبير يعني زمنًا طويلًا. ولتحديد المدى الزمني بالضبط تقدر هذه الدراسات معدل حدوث الطفرات عبر تحليل الجينات في نوعين أو صنفين يُعتقد بأنَّهما قد تطورا من سلف يمكن تمييز وجوده وتأريخه بدقةٍ في السجل الأحفوري. فمثلًا تمَّ معايرة دراسات الطيور والثدييات بناءً على عمر زاحفٍ مبكرٍ، يعتقد بأنَّه السلف الأكثر حداثة للطيور والثدييات.



الشكل (٥-٢): فكرة الساعة الجزيئية. في يمين الشكل: يَظهرُ الحيوانان وتسلسل المورثة المتناظرة (homologous) في كل منهما، ويظهر البعد الجزيئي بين الحيوانين الموجودين اليوم، مبينًا عدد الاختلافات الطفروية المتراكمة عبر الزمن منذ أن تباعدا على شجرة الحياة. يمثل الحيوان على يسار الشكل -زاحف شبيه بالثدييات- السلف المشترك الذي يفترض أن هذه الحيوانات تطورت منه. وبمعرفة الزمن منذ عاش السلف المشترك -الزاحف الشبيه بالثدييات-، وكمّ الاختلافات الطفروية التي تراكمت في ذريته خلال هذا الزمن، يَتمكنُ العلماء من حساب معدل الطفرات. نظريًا، بتحديد معدل الطفرات، يمكن حساب زمن تباعد الأنواع الأخرى الموجودة حاليًا، بعد أن يتم مقارنة الاختلافات بين جيناتها المتناظرة.

تُمكّن المقارنات الجينية علماء البيولوجيا التطورية من تقدير عدد التغيرات الطفروية منذ بدء التباعد عن السلف، ويُخبرهم تأريخ الطبقة الحاوية على الأسلاف الأحفورية المفترضة مقدار الزمن الذي حَصلَ فيه التباعد، وبافتراض تطوُّر السلالات المختلفة بنفس المعدل[٦] يَتمكن علماء البيولوجيا التطورية من حساب القيمة المرجعية لمعدل الطفرات، ويمكن بعد ذلك الاستفادة من هذا المعدل في

تحديد المدة الزمنية التي مضت منذ تباعد زوجان آخران من الحيوانات عن بعضهما في الشجرة التطورية (الشكل ٥-٢).[٧]

استخدم أنصار التباعد العميق هذه الطريقة لتحليل الجينات المتشابهة أو جزيئات RNA أو البروتينات في أزواج من الحيوانات التي تنتمي للشعب الحية التي نشأت في الفترة الكامبرية، وبهذه الطريقة قدّر الوقت الذي استغرقته تلك الحيوانات المختلفة لتفترق انطلاقًا من سلف مشترك قبل كامبري.

العميق والأعمق: أدلة التباعد العميق

أنجزَ علماءُ البيولوجيا التطورية جريجوري أ. وْراي وجيفري س. ليفنتون وليو ه. شابيرو في التسعينيات دراسةً كُبرى على بيانات التسلسلات الجزيئية المرتبطة بالعصر الكامبري، ونشروا نتائجهم في عام ١٩٩٦ في ورقة بعنوان (الأدلَّة الجزيئية على التباعدات العميقة ما قبل الكامبرية ضمن الشعب التوالانية Metazoan)[٨]، وقد قارنَ فريقُ وراي درجةَ الاختلاف بين تسلسلات الحموض الأمينية لسبعة بروتينات[٩] مشتقَّة من عدة حيوانات معاصرة مختلفة، تُمثل الأحياء الكامبرية - الديدان العلقية، مفصليات الأرجل، الرخويات، الحبليات، شائكات الجلد-، كما قارنوا تسلسلات الأسس النكليوتيدية لجزيئة الرنا الريبوزومي[١٠] من نفس الحيوانات الممثلة لنفس الشعب الخمسة.

اِستَنتَجت دراسة وراي أنَّ السلفَ المشترك للأشكال الحيوانية قد عاش قبل ١.٢ بليون سنة، مما يدلُّ على أنَّ الحيوانات الكامبرية قَضَت حوالي ٧٠٠ مليون سنة لتتطور من وجهة نظر (التباعد العميق) قبل أوَّل ظهور لها في السجل الأحفوري. حَاولَ وراي وزملاؤه شرح غياب الأشكال السلفية الأحفورية بافتراض

وجود الأسلاف من عصور ما قبل الكامبري بأشكال رخوة حصرًا، ممَّا يُضعِفُ من احتمال حفظها.

كما أجرى دوغلاس إروين –مؤخرًا– مع العديد من زملائه دراسة تقارن درجة الاختلاف التسلسلي بين سبعة جينات أخرى نووية خدمية housekeeping[١١] وثلاث جينات رنا ريبوزومي[١٢]، عبر ١١٣ نوعًا مختلفًا من التوالي Metazoa الحيَّة –يُشيرُ مصطلح (التوالي Metazoa) إلى الحيوانات ذات النسيج المتمايز، ويشير المصطلح (توالاني metazoan) إلى حيوان كهذا، أو يُمكن استعمالها كصفة كما في (الشعب التوالانية)–، فقدّروا بأنَّ "السلف الأخير المشترك لكل الحيوانات الحيَّة قد نشأ قبل حوالي ٨٠٠ مليون سنة".[١٣]

تؤكِّدُ العديدُ من الدراسات تباعدًا قديمًا جدًا، أو تباعدًا عميقًا في طبقات الأرض للأشكال الحيوانية، بعكس من زعم أنَّ الحيوانات الكامبرية قد ظَهَرت فجأةً في غضون عدة ملايين من السنين[١٤]، وتؤكِّدُ كل هذه الدراسات على الانبعاث التدريجي للحياة الحيوانية، التي توقّع معظمُ الباحثين إيجادها على أساس الصورة الداروينية لتاريخ الحياة الحيوانية، كما أنَّ اختبار وجهة النظر القائلة "بأنَّ الشعب الحيوانية تشعبت في انفجار قرب بداية العصر الكامبري" كانت هدفًا أساسيًا لدراسة وراي[١٥]، إذ يُجادلُ وراي وزملاؤه بدلًا من ذلك بأنَّ "تقديرات الزمن الكلي الوسطي للتباعد بين هذه الشعب الأربعة والحبليات، استنادًا إلى جميع الجينات السبعة، تَعودُ إلى تاريخ قبل بداية العصر الكامبري"[١٦]، وخلصوا إلى القول: "لقد أضفت نتائجنا الشك على الفكرة السائدة بأنَّ الشُعب الحيوانية قد تباعدت بشكلٍ مفاجئ (انفجاري) خلال العصر الكامبري أو الفندي Vendian المتأخر، وتُشيرُ

بدلًا من ذلك إلى وجود فترة تباعد مديدة خلال منتصف حقبة الطلائع (بروتيروزويك)، تبدأ منذ حوالي بليون سنة".[١٧]

تَبدو استنتاجات هذه الدراسات من وجهة نظر العقيدة الداروينية حتميةً تقريبًا:

١- لأنَّ الآليَّة الداروينية الحديثة تتطلب أزمنة فسيحة لإنتاج إبداع تشريحي.

٢- ولأنَّ هذه التحاليل الفيلوجينية تفترض انحدار كل الأشكال الحيوانية من سلف مشترك.

يَزعمُ العديدُ من علماء البيولوجيا التطورية أنَّ الدلائل التي كانت مختفية في الدنا قد أكَّدت الآن هذه البدهيات الداروينية، وبالتالي وجود سلف قبل كامبري للحيوانات الكامبرية مغرق في القدم. وكما يذكر أندرو كنول (عالم الأحافير من هارفارد): "لا مناص من الفكرة القائلة بأنَّ الحيوانات قد نشأت أبكر بكثير مما نراها في السجل الأحفوري".[١٨]

الشك المعقول

لكن هنالك سبب وجيه للشكِّ بهذه الأدلَّة الجينية القاطعة المزعومة؛ إذ أنَّ الشهود الآخرين الماديين -الأحافير-، إن استخدمنا مصطلحًا من الطب الجنائي، قد قدَّموا شهادتهم مسبقًا، فشهادة الجينات (والمؤشرات الأساسية الأخرى للتاريخ البيولوجي) متناقضة بشكلٍ هائل، كما قُدِّمت لنا الشهادة الجينية عبر مترجم يصوغ لهيئة المحلفين فهمهم للدليل. فلننظر إذن لكل هذه المشاكل بالتفصيل.

شهادة الأحافير

تُذكرنا شهادة الأحافير بأنَّ فرضية التباعد العميق مؤلفة من شقين، يقدِّم أولهما -وهو نسخة عن فرضية الأحافير المخادعة- تفسيرًا لاختفاء الأحافير

السلفية ما قبل الكامبرية، وتَظهرُ هنا أوَّل المشاكل التي تَعترضُ فرضية التباعد العميق، فكما رأينا في الفصل الثالث لا توجد حاليًا نسخة معقولة من فرضية الأحافير المخادعة، لأنَّ حفظ كثير من الحيوانات الكامبرية رخوة الجسم –إضافة إلى الأجنة قبل الكامبرية وكذلك الأحياء الدقيقة– يقوّضُ فكرة وجود فترة من التطور الكثيف غير المكتشف للأجسام الرخوة. كما أنَّ الزعم بأنَّ الأسلاف (رخوة الأجسام) هي حصرًا ما سبق الأشكال الكامبرية صلبة الأجسام ما زال غير معقولٍ تشريحيًّا، فعضديات الأرجل brachiopod لا تَستطيعُ البقاءَ على قيد الحياة دون صدفتها، كما لا يُمكنُ لأحد مفصليات الأرجل أن يوجد دون هيكله الخارجي. على الأرجح سيترك أي سلف معقول لهذه الكائنات بعض أجزاء الجسم الصلبة، لكن لم يكتشف أي من ذلك في العصور قبل الكامبرية، ومع ذلك تتطلب فرضية التباعد العميق –مهما كانت ميزاتها الأخرى– فرضية أحافير مصطنعة تَصلُحُ لتفسير غياب الأسلاف الأحفورية قبل الكامبرية.

شهادة الجينات: قصص متضاربة

ويوجد سببٌ آخر أقوى للشكِّ بفرضية التباعد العميق؛ فقد وَلَّدت حصيلة الدراسات الجزيئية المختلفة نتائج متباعدة جدًا، رغم ذلك يوجد افتراض لسلف واحد فقط لكل التوالي، وأنَّها تلتقي في نقطة نهائية يَنطَلِقُ منها التباعد.

مثلًا، تنتج مقارنة الدراسة التي قادها واري مع الدراسة التي قادها إروين اختلافًا مقداره ٤٠٠ مليون سنة، كما تَصِلُ الدراسات الأخرى لاختلافات أكبر من ذلك، بل إنَّ العديد من الدراسات الأخرى تَطرحُ أرقامها بتنوع أوسع، فتضع السلف المشترك للحيوانات في مجال بين ١٠٠ مليون و١.٥ بليون سنة قبل

الانفجار الكامبري –وبعض دراسات الساعة الجزيئية تَضعُ السلف المشترك للحيوانات بعد الانفجار الكامبري–.[١٩] كما كتب دوغلاس إروين مع زميله عالمُ الأحافير جيمس فالانتاين معترفًا عام ١٩٩٩: "إنَّ محاولات تأريخ هذه التفرعات من سلف مشترك قبل كامبري باستعمال الساعات الجزيئية متعارضة جدًا".[٢٠] فكيف يكون ذلك؟

في المقام الأول، أنتَجَت الدراسات المختلفة لجزيئات مختلفة بيانات متباعدة جدًا، بالإضافة للدراسات التي استشهدت بها. ولنأخذ ورقة نشرت عام ١٩٩٧ للبيولوجي الياباني نارو نيكو وزملائه، التي تَفحصُ جينتي ألدولاز وإيزوميراز فوسفات التريوز، وقد حدَّدوا تاريخَ ٩٤٠ مليون سنة للانفصال بين التوالي الحقيقية eumetazoa والشوالي parazoa –بين حيوانات ذات نسج مثل القراصات وحيوانات بلا نسج مثل الإسفنجيات–.[٢١] مقارنة بورقة صدرت عام ١٩٩٩ لدانيل وانغ و سودير كومار و س. بلير هيدجز المستندة إلى دراسة ٥٠ جينًا مختلفًا، التي بيَّنت أنَّ الشعب الحيوانية الأساسية (الإسفنجيات Porifera والقراصات Cnidaria والمشطيات Ctenophora) قد تباعدت تقريبًا بين ١٢٠٠–١٥٠٠ مليون سنة.[٢٢]

تُذكر أزمنة تباعد متناقضة في نفس المقال أحيانًا، فمثلًا بينما تقول ورقة خبير البيولوجيا التطورية ليندل برومهام (من الجامعة الوطنية الأسترالية) وزملائه، المنشورة في محاضر الأكاديمية الوطنية للعلوم بأمريكا: إنَّهم قاموا بتحليل جزيئتين مختلفتين (الدنا الميتوكوندري) و(18S rRNA)، تذكر صراحة أنَّها تستنتج تواريخ تباعد فردية جينيًا تختلف بمقدار بليون سنة.[٢٣] كما وجدت دارسة أخرى تتقصى التباعد بين المفصليات والفقاريات، فحسب الجينة المستعملة قد يكون تاريخ

التباعد في أي تاريخ بين ٢٧٤ مليون و١.٦ بليون سنة، ويَقعُ التاريخ الأول بعد حوالي ٢٥٠ مليون سنة من الانفجار الكامبري.[٢٤] فاختارت الورقة بكل ثقة في خلاصتها أن تُقسِّمَ الاختلاف كمتوسط حسابي لِتَصِلَ إلى حوالي ٨٣٠ مليون سنة. كذلك وجد مختصّا المعلوماتية الحيوية ستيفان آريس بورسو من جامعة أوتاوا، وزيهنغ يانغ من جامعة لندن، بأنَّه اعتمادًا على الجينة المستعملة وطرائق التقدير ربَّما يكون السلف الأخير لمسميات الفم protostomes أو ثنائيات الفم deuterostomes –نمطان مختلفان كليًا من حيوانات العصر الكامبري– قد عاش في أي تاريخ بين ٤٥٢ مليون و٢ بليون سنة.[٢٥]

في دراسة مسحيَّة للدراسات الحديثة الخاصة بالتباعد العميق أجراها خبيرا التطوُّر الجزيئي دان غراور وويليام مارتن، لوحظ وجود إحدى الدراسات التي يَزعمُ فيها المؤلفون أنَّهم متأكِّدون بنسبة ٩٥ بالمائة من أنَّ تاريخ تباعد يقع ضمن مجال ١٤.٢ بليون سنة –أكثر بثلاثة أضعاف من عمر الأرض– ومن الواضح أنَّها نتيجةٌ لا معنى لها.[٢٦] استنتج غراور ومارتن أنَّ العديدَ من تقديرات الساعة الجزيئية "تَبدو ذات دقة مضلِّلة"، لكنْ نظرًا لطبيعة هذا المجال فقد كانت "نصيحتهم للقارئ هي: أنَّه أينما يرى تقديرًا زمنيًا في المنشورات التطورية، فعليه أن يَشُكَّ".[٢٧] وقد عبَّر عن ذلك بوضوح عنوان ورقتهم المنشورة في مجلة توجهات في علم الوراثة (قراءة أحشاء الدجاج: المقاييس الزمنية الجزيئية للتطور ووهم الدقة).

تولِّد الدراسات المختلفة أحيانًا على المجموعة نفسها أو المجموعات المتشابهة من الجزيئات أزمنة تباعد مختلفة جذريا، فمثلًا قام فرانسيسكو آيالا والعديد من زملائه بإعادة حساب أزمنة التباعد لشعبة التوالي باستعمال نفس الجينات المرمزة للبروتين التي استعملها فريق وراي تقريبًا.[٢٨] وبتصحيح "حشد من

المشاكل الإحصائية"[29] في دراسة وراي، وجد آيالا وزملاؤه أنَّ تقديراتهم "متسقة مع التقديرات الأحفورية"، وليس مع فرضية التباعد العميق، واستنتجوا أنَّ "الاستقراء إلى أزمنة بعيدة انطلاقًا من المعدَّلات التطورية الجزيئية؛ المقدرة ضِمنَ مجموعات البيانات المحدودة أمرٌ محفوف بالمخاطر".[30] أو كما استنتج فالانتاين وجابلونسكي وإروين بأنَّه: "مازالت دقة الساعة الجزيئية أمرًا إشكاليًّا –على الأقل لتباعدات الشعب– بالنسبة للتقديرات التي تَختلفُ بين بعضها بحوالي ٨٠٠ مليون سنة حسب التقنيات أو الجزيئات المستعملة".[31] أزمنة التباعد قبل الكامبري المسرودة كانت ستختلف أكثر لولا أنَّ علماء البيولوجيا التطورية ومُختصِّي التصنيف الجزيئي يَتجاهلون جزيئات معينة في دراساتهم لتجنب النتائج المتناقضة بشكلٍ كبير. لنأخذ مثلًا الهيستونات Histones –وهي بروتينات موجودة لدى كل حقيقيات النوى، وتُساهمُ في تجميع الدنا DNA ضمن الكروموزومات أو الصبغيات–، تُظهر الهيستونات تغايرًا ضئيلًا من نوع لآخر[32]، إنها لا تستعمل أبدًا كساعات جزيئية، فما السبب؟ إن اختلافات التسلسل بين الهيستونات –بافتراض أنَّ معدل الطفرات مقارب لمعدله في البروتينات الأخرى– ستولّد زمن تباعد يمتاز باختلاف هائل عن دراسات العديد من البروتينات الأخرى[33]، حيث تُنتج الاختلافات بين الهيستونات تباعدًا قريب العهد جدًا بعكس الدراسات الأخرى. ويَستبعد علماء البيولوجيا التطورية نموذجيًّا الهيستونات من اعتباراتهم لأن هذه الأزمنة لا تؤكِّدُ أفكارهم المسبقة حول ما يجب أن تَبدو عليه شجرة الحياة ما قبل الكامبرية.

يَطرحُ ذلك أسئلةً واضحة: إذا لم يَكُن لدينا أحفورات توثِّقُ السلف الحيواني المشترك، وإذا كانت الدراسات الجينية تنتج أزمنة تباعد مختلفة ومتناقضة، فكيف

نَعلمُ ما يجب أن تكون عليه شجرة الحياة؟ ومتى بدأت الحيوانات الأولى بالتباعد عن السلف المشترك؟ إذا كانت الهيستونات تتغيَّرُ ببطء شديد لا يمكنه تقديم معايرة دقيقة للساعة الجزيئية، فأي الجزيئات تتغيّر بالمعدل الصحيح؟ وكيف نعرف بأنَّها كذلك؟ يُجيبُ معظمُ مختصّي البيولوجيا التطورية على هذه الأسئلة عادةً بقول من مثل: نحن نعرف مسبقًا بأنَّ الشعب الحيوانية تطورت من سلف مشترك، ونعرف تقريبًا متى كان ذلك، وبالتالي لابد من رفض الدراسات المرتكزة على تسلسلات الهيستونات؛ لأنَّ نتائج هذه الدراسات ستتناقض مع التاريخ.

لكن هل نعرف حقًا هذه الأشياء؟ وإن كان هذا هو الحال فكيف نَعرفها؟ من الواضح أنَّ الافتراضات حول النافذة الزمنية التي لابد أن التوالاني الأول قد عاشها –سلف كل الحيوانات– غير مشتقة من شهادة الوراثيات الجزيئية وحدها، بسبب الاختلاف الكبير لنتائج المقارنات التسلسلية –حسب الجزيئة المدروسة–، وتتضمن تواريخ خارج هذه النافذة، بل وكما صاغها بلطفٍ كتابٌ منهجيٌّ كثير التداول: يَجبُ على البيولوجي التطوري أن يَختَارَ بيانات "توفِّرُ معلومات مفيدة فيلوجينيا phylogenetically informative"[٣٤]، وهم يعنون بذلك التسلسلات التي لا تُظهر تنوعات كثيرة جدًا أو ضئيلة جدًا، حيث يُحدِّدُ الكثير جدًا والضئيل جدًا وفق الاعتبارات المسبقة للعقلية التطورية، وليس بالرجوع إلى معايير مستقلة لتحديد دقَّة الطرائق الجزيئية.

تسبغ صفة الشخصانية لهذه الاستنتاجات –حيث يَنتَقي العلماءُ الدليل الذي يؤكِّدُ أفكارهم المفضلة وينبذ الباقي– مزيدًا من الشكِّ على المدى الذي تُنتج فيه المقارنات الجزيئية أي إشارة تاريخية واضحة، فنقطة تباعد واحدة فقط هي التي تُمثِّلُ السلف المشترك الواقعي الشامل لكل الحيوانات. لكن إذا كانت تحاليل

التسلسلات المقارنة تولد أزمنة تباعد تتسق مع كل التواريخ التطورية الممكنة تقريبًا، حيث يَتراوح حدث التباعد من عدة ملايين إلى عدة بلايين سنة، فمن الواضح أنَّه لابد أن تكون غالبية هذه التواريخ خاطئة، فهي لا تُخبرنا إلا القليل عن الزمن الفعلي للتباعد قبل الكامبري، إن حصل هذا الحدث فعلًا.

افتراضات مريبة

تَزيدُ المشاكل الأخرى الطين بلة، بداية من الافتراضات التي تجعل تحاليل مقارنة التسلسلات ممكنة أصلًا، إذ تفترض هذه المقارنات دقَّة الساعات الجزيئية، وأن تبقى معدلات حدوث الطفرات في الكائنات ثابتة نسبيًا عبر الزمن الجيولوجي، كما تفترضُ هذه الدراسات أيضًا صحة نظرية الأصل المشترك العام، لكن كلا الافتراضين إشكاليّ.

حتى لو افترضنا إمكانية مسؤولية الانتخاب الطبيعي والطفرة –وعمليات تطورية أخرى مشابهة غير موجهة– عن نشوء بروتينات ومخططات جسدية جديدة، فلا يُمكننا افتراض سير الساعة الجزيئية البروتينية بمعدَّل ثابت، إذ بخلاف طرائق التأريخ الإشعاعية، تَعتمدُ الساعات الجزيئية على حَشد من العوامل الاحتمالية. وكما يذكر فالانتاين وجابلونسكي وإروين: "تتطور الجينات المختلفة في الجماعات المختلفة المنحدرة من سلف واحد clades بمعدلات مختلفة، وتتطور الأجزاء المختلفة من الجينات بمعدلات مختلفة، الأهم من ذلك كله حقيقة المعدلات التي تتغيَّرُ وفقها تلك الجماعات عبر الزمن".[٣٥] هذا التغيير كبير جدًا، وقد حذَّرت منه ورقة بحثية منشورة في مجلة البيولوجيا الجزيئية والتطور: "يُمكن أن يتفاوت معدل التطور الجزيئي إلى حد بعيد ضمن الكائنات المختلفة، وهذا يَطرَحُ تحديات تجابه مفهوم الساعة الجزيئية".[٣٦]

لنتذكَّر أيضًا أنَّ الساعات الجزيئية تَمَّت مُعايرتها استنادًا للعمر التقديري لأحافير الأسلاف المفترضة، لكن إن كانت هذه التقديرات خاطئة ولو بمقدار بضعة ملايين، أو إن كانت الأحفورة المستعملة لضبط معدل الطفرات لا تقع في نقطة التباعد الفعلية على شجرة الحياة، فقد يَنحَرِفُ معدل الطفرات المقدر بشكلٍ سيء. تَعتمدُ معايرة الساعات الجزيئية على فَهم دقيق لعلاقات (سلف-عقب) بين الأحافير والمجموعات التصنيفية التي يفترض أنَّها انحدرت عنها، فإن لم تَكُن الأحفورة المستعملة لضبط زمن التباعد لمجموعتين لاحقتين هي السلف الحقيقي، سيكون حساب معدل الطفرات المستند على عُمر هذه الأحفورة غير دقيق على الإطلاق، وقد ذَكرَ ذلك أندرو سميث وكيفين بيتيرسون: "لا تخلو الساعات الجزيئية من الأخطاء، وتعتريها مجموعة خاصة من المشاكل... تَعتمدُ دقَّة التقنية على امتلاك نقطة أو نقاط معايرة دقيقة، إضافة إلى وجود تاريخ تطوري موثوق يكون فيه ترتيب التفرعات، وتقديرات لأطوالها الصحيحة".[٣٧] ونظرًا لندرة تحقق هذه الشروط "فقد أهملت منذ أمدٍ طويل فكرة وجود ساعة جزيئية شاملة تدق بانتظام".[٣٨]

إنَّ تطبيق الساعة الجزيئية لتأريخ زمن السلف قبل الكامبري المزعوم للحيوانات يُعقِّد الأمور أكثر، ولندرة الأحافير من العصور ما قبل الكامبري وعدم وجود سلالات (سلف-عقب) واضحة، لابد أن يتمَّ ضبط ومعايرة الساعة الجزيئية على أساس سلالات أحفورية مختلفة جدًا، ناشئة بعد مئات ملايين السنين. واقعيًا، مع غياب أدلَّة السجل الأحفوري -أقدم من ٥٥٠ مليون سنة- التي يمكن من خلالها معايرة الساعة الجزيئية، فإنَّ أي محاولة لتأريخ أصل الشعب الحيوانية الكامبرية مشكوك بها جدًا.[٣٩] ربَّما لهذا السبب تعجَّب فالانتاين وجابلونسكي وإروين فيما إن كانت "تواريخ الساعة الجزيئية يُمكنها أن تطبَّق بشكلٍ موثوق على

هذه الأحداث الجيولوجية البعيدة، مثل التفرعات التي حَدثت ضمن التوالي في حقبة الطلائع الحديثة Neoproterozoic، وهي الحقبة الأخيرة قبل الكامبرية".[٤٠] قد تُساهم معرفة هذه المشاكل الطرائقية في فهم سبب نشوز النتائج المتناقضة.

تمرير داروين

الافتراض الثاني المهم وراء فرضيات التباعد العميق هو فكرة السلف المشترك لكل الأشكال الحيوانية، أي أنَّ كل الحيوانات الكامبرية قد تطوَّرت من سلف مشترك في عصر ما قبل الكامبري، ويَعترفُ بذلك الكتاب المنهجي (فهم المعلوماتية الحيوية): "الافتراض الأساسي عند بناء شجرة فيلوجينية من مجموعة تسلسلات هو أن جميعها مشتق من تسلسل سلف مفرد، أي أنَّها نظائر homologous".[٤١] كما نصَّ عليه الكتاب المنهجي (شجرة الحياة) المطبوع في جامعة هارفرد: "نحن مجبرون على الافتراض بدايةً بأنَّ الحالات المتشابهة هي نظائر بالنسبة لكل صفة"، حيث تعني كلمة نظائر في النصِّ أنَّها صفات متشابهة بسبب انحدارها من سلف مشترك.[٤٢]

يَرفعُ هذا الافتراض –السلف المشترك الشامل– إمكانية كون الكيانات السلفية الممثلة بنقاط التباعد في هذه الدراسة مجرد افتراضات خادعة تُحلِّل بواسطتها البيانات الجزيئية، وقد كُتبت في الواقع برامج الحاسوب المستعملة لمقارنة التسلسلات الجزيئية لإنتاج أشجار تُظهر الأسلاف المشتركة وعلاقات التشعب، بغض النظر عن المدى الذي قد تختلف به الجينات المحللة أو تتفق. تقارن الدراسات الفيلوجينية تسلسلين جينيين أو أكثر، من ثم تستعمل درجة الاختلافات لتحديد نقاط التباعد والعقد على الشجرة الفيلوجينية، لذلك فمن

اللازم فيها افتراض وجود العقد ونقاط التباعد في الماضي. بالتالي، لا تثبت دراسات التباعد العميق بثقة وجود أيّة أشكال سلفية في عصور قبل الكامبري.

فهل يوجد فعلًا سلف واحد من التوالي الأصلية أو ثنائيات الجانب bilaterian للحيوانات الكامبرية؟ لا يوثّق السجل الأحفوري الكامبري وما قبل الكامبري ذلك بكل تأكيد، كذلك لا توثّقه دراسات التباعد العميق، بل تفترض هذه الدراسات وجود هذه الأسلاف، ومن ثم تحاول فقط -في ضوء هذا الافتراض- أن تحدِّدَ متى قد تكون عاشت هذه الأسلاف. قد يُجادلُ أحدُهم بأنَّ نقاط التباعد المتناقضة تُظهر على الأقل وجود سلف مشترك في العصر ما قبل الكامبري، بما أنَّ كل دراسات التباعد تُشيرُ إلى ذلك على الأقلِّ بغض النظر عن نتائجها المتناقضة، لكن مرة أخرى نقول أنَّ الدراسات الجزيئية تَفترضُ وجود سلف مشترك كدليل على وجوده، فما تُقومُ به مجرد مصادرة على المطلوب، إذ أنَّها لا تقدم بكل تأكيد أي سبب لتفوق استعمال الدليل الجزيئي على الدليل الأحفوري. نعم، ربما لم تُسجِّل الأحجار قبل الكامبرية أسلاف الحيوانات الكامبرية؛ لأنَّها غير موجودة أصلًا. لدحض هذه الإمكانية، وحلِّ معضلة الأحافير السلفية المفقودة قبل الكامبرية، لا يُمكن لمختصي البيولوجيا التطوُّرية استعمال الدراسات التي تَفترضُ وجود الكيان الذي يحاولون إثباته.

الكائن الخرافي Shmoo، وعودة المأزق الدائري

يَطرحُ مفهوم التباعد العميق مشكلةً أخرى ذات علاقة بمناقشتي في نهاية الفصل السابق حول ماهية المطلوب لتوثيق الأشكال السلفية المفقودة لحيوانات الكامبري. تذكر بأنَّني ذهبت إلى أن أي سلف مشترك معقول مفترض لكل الشعب

الحيوانية لابد أن يَفقدَ بالضرورة معظم (أو كل) السمات التشريحية النوعية التي تميز شعبة عن شعبة أخرى، وكلَّما كان الشكل الحيواني الافتراضي مشابهًا للمفصليات أكثر، كان أقل احتمالًا أن يكون سلفًا للحبليات والرخويات وشائكات الجلد والديدان العلقية، والعكس صحيح. ففي كل حالة، يؤدِّي منطق التصميم وترتيب الأجزاء الضروري لتقديم الأساس لنمطٍ ما من الحياة الحيوانية إلى استبعاد أن يُقدِّم أساسًا لأشكال حيوانية أخرى، مثلما يُستبعد أن يعمل (نظام من أجزاء) يقدم نمطًا من النقل –مثل الدراجة– في نمط آخر –كالغواصة مثلًا–.[43]

لهذا السبب يَفترضُ علماءُ الأحياء الذي يُفكرون حول خصائص السلف الأقدم لكل الشعب التوالانية –الحيوان الفعلي عند نقطة التباعد العميق– نموذجيًا شكلًا بسيطًا جدًا من الحياة، أو ما وصفه لي أحد مختصِّي البيولوجيا التطورية بـ(شمو)؛ وهو شخصية كرتونية تُشبه الفقاعة، مشهورة في الأربعينيات والخمسينيات، قام بصنعها آل كاب. اقتَرَحَ البعضُ بأنَّ الحيوان البدائي ربَّما كان شيئًا مثل بلاكوزون، وهو حيوان معاصر عديم الشكل ذو أربعة أنماط خلوية فقط، وبلا تناظر ثنائي الجانب.[44] في حين وَصفَ علماءُ أحافير آخرون التوالاني البدائي المفترض بصفات سلبية، وهي الخصائص التي لا بد أنَّها لم تكن في ذاك الشكل السلف المشترك المتوقع لكل التوالانيات الأخرى. هذه الحاجة لوصف التوالاني البدائي سلبًا اضطرت بعض علماء الأحافير الرواد إلى التشكيك فيما إن كان الحيوان البدائي يُمكن وصفه نوعيًا بشكلٍ مؤكَّد.[45]

على أية حال، تُشيرُ الحاجة لتوصيف الحيوان البدائي كشكل بسيط جدًا يُشبه (شْمُو)، وتتحول العديد من الصفات الجمة والبدع التشريحية الموجودة في الحيوانات الكامبرية إلى معضلة عميقة للمنظرين التطوريين. فمن جهة، لا بد أن

يملك التوالاني البدائي الافتراضي -ليكون سلفًا مشتركًا معقولًا لكل الشعب الحيوانية- خصائص أقل من الأشكال التوالانية اللاحقة. وفي الواقع، لابد ليكون السلف الافتراضي معقولًا أكثر أن يكون أبسط، مما يعني أنَّه سيَفقد أكثر السمات المميزة النوعية للشعب الحيوانية الفردية، ويعني ذلك أن أي سيناريو تطوُّري لأصل الحيوانات يتوقَّع وجود مثل هذا الشكل الحيواني "المعرى" كنقطة بدء، سيحتاج لتخيُّل السمات المميزة التي تنشأ لاحقًا. وكلما كان عدد الصفات أقل في السلف المشترك الافتراضي، كانت الصفات المطلوب ظهورها أكثر. يَقتضي هذا المتطلب المنطقي بدوره الحاجة لنقطة تباعد أكثر عمقًا في التاريخ قبل الكامبري، والحاجة لمزيد من الزمن لإنتاج هذه البدع التشريحية النوعية، ممَّا يُفاقم من مشكلة الانقطاع الأحفوري؛ فكلَّما كان السلف المشترك الافتراضي معقولًا أكثر، كانت نقطة التباعد الضرورية أعمق، وكان الانقطاع المورفولوجي أكبر في السجل الأحفوري.

من جهة أخرى، سيلغي اقتراح وجود سلف مشترك أكثر تعقيدًا -وأعلى تمايزًا تشريحيًّا- وأقرب في ألفته لبعض الأشكال الحيوانية الكامبرية الحاجةَ لنقطة تباعد عميقة جدًا، لكنَّه سيُقلِّص أيضًا من معقولية وجود هذا السلف الافتراضي كتوالاني بدائي مشترك بين كل الحيوانات الكامبرية. فمرة أخرى نقول: كلما كان الشكل الافتراضي أشبه بأحد الأشكال الحيوانية أو الشعب النوعية، كان أقل معقولية كسلف لكل الشعب الأخرى، وهذه هي المعضلة. هل يمكن أن يوجد شكل حيواني بسيط بما يَكفي ليكون سلفًا مشتركًا لكل الشعب الحيوانية قابلًا للحياة؟ ربما، لكن افتراض وجود هذا الشكل لن يؤدِّي سوى لزيادة العمق المطلوب لنقطة التباعد، وزيادة شدة المشكلة الهامة الموجودة حاليًا للانقطاع الأحفوري الكامبري وما قبل الكامبري.

مشكلة عميقة

لا تُثبت التحاليل الجينية المقارنة نقطة تباعد عميق واحدة، وبالتالي لا تعوض فقدان الدليل الأحفوري للأسلاف الكامبرية الأساسية، مثل السلف التوالاني البدائي أو ثنائي الجانب البدائي. تتباعد النتائج المختلفة بشكلٍ هائل أيضًا بما يحيل كونها حاسمة ونهائية –أو حتى معقولة–، وتمتلئ طرائق الاستدلال على نقاط التباعد بالتوجهات الشخصية. يَعتمدُ المشروع الكلي على مغالطة منطقية هي المصادرة على المطلوب، ويُعبرُ العديدُ من رواد علماء الأحافير الكامبرية –بل وحتى بعض رواد البيولوجيا التطورية– الآن عن شكِّهم بنتائج وأهمية دراسات التباعد العميق، إذ يرفض سيمون كونوي موريس مثلًا فكرة اعتماد هذه الدراسات على الدليل الأحفوري القائل بتشعب كامبري سريع وسطحي وأكثر انفجارية، فقد استنتج بعد تقييم السجل غير المتسق لدراسات التباعد العميق "أن تاريخًا عميقًا يَمتدُّ إلى ما يزيد عن ١٠٠٠ مليون سنة أمرٌ غير مرجح إلى حدٍ بعيد"[٤٦]، ويذكر أن كونوي موريس أحد رواد البيولوجيا التطورية وعلماء الأحافير الكامبرية الكثيرين الذين عبروا عن شكهم بهذه الدراسات.[٤٧] على كل حال، يوجد مبرر ضعيف اليوم لاعتبار فرضية التباعد العميق حلًا أصيلًا للغز الكامبري.

الفصل السادس

شجرة الحياة الحيوانية

شجرة الحياة الحيوانية

في العام ٢٠٠٩، وإكرامًا للذكرى المئوية الثانية لميلاد داروين، صُنعت قطعة فنية لتزين سقف إحدى غرف العرض في متحف التاريخ الطبيعي في لندن، وذَكَرَت ورقة بحثية في مجلة (سجلات التاريخ الطبيعي Archives of Natural History) أنَّ هذه القطعة الفنية المسمَّاة (الشجرة) مستلهمة من مخطط رسمه داروين على أحد دفاتره، وهو المخطَّط الذي عُرِفَ بعد ذلك بشجرة الحياة (الشكل ٢-١١a)، وأطلقَ أحد برامج BBC الإذاعية على الشجرة المعروضة اسم (كنيسة سيكستوس الرابع الداروينية)[١]، في حين ذكرت ورقة أخرى من المجلة ذاتها -(سجلات التاريخ الطبيعي)، والتي تنشرها جامعة إيدنبرغ- أنَّ: "الشجرة احتفال بالتطوُّرية الداروينية.. والتفكير والمنطق العلماني".[٢]

تُمثِّلُ الصورة الأيقونية لشجرة الحياة التي وضعها داروين بالنسبة للعديد من علماء الأحياء -ربَّما- خلاصة الذي على علم الأحياء التطورية أن يدرّسه، وتحديدًا حقيقة التطور، والتي "لن يكون لعلم الأحياء أي معنى دونها".[٤] رغم أن السجل الأحفوري لا يَشهدُ بشكلٍ مباشر على وجود العديد من الأشكال الوسيطة التي تتوقعها شجرة داروين، إلا أن السلطات (العلمية) الحاكمة تُصرُّ على أنَّ النواحي الأخرى من الدليل -وخصوصًا من علم الوراثة- تُثبتُ بلا ريب أنَّ شجرة داروين هي الصورة الصحيحة لتاريخ الحياة.

رأينا في الفصل السابق وجود العديد من الأسباب التي تَدفعُنا للشكِّ في نظرية التشعب العميق deep-divergence، وادِّعائها تحديد زمن بدء تطور الحيوانات الكامبرية من أسلاف محددة قبل كامبرية، بناءً على الدليل الجيني، لكن الحقيقة هي أنَّ الفكرة القائلة باستطاعة هذه الدراسات تحديد زمن ظهور التوالي

البدائية ur-metazoan أو ثنائية الجانبين البدائية ur-bilaterian بدقَّة، مهددة بشكوك متزايدة بين أعداد متزايدة من علماء الأحياء وعلماء الأحافير.

على أي حال، شجرة الحياة ككل هي قضية أخرى، إذ يَظنُّ العديدُ من علماء الأحياء التطورية أنَّ السلف العالمي المشترك شيء مفروغ منه وغير قابل للطعن، لأنَّ تحليل التشابهات التشريحية وتحليل التشابهات الجينية يصلان –كما يزعمون– إلى نفس النمط الأساسي للانحدار من سلف عام مشترك. كما يؤكِّد ريتشارد دوكنز: "عندما نَنظرُ بعين المقارنة إلى... التسلسلات الجينية بين كل هذه المخلوقات المختلفة سَنَجِدُ نفس التراتبية الشجرية التي نَحصلُ عليها عند مقارنة التشابهات التشريحية، حيث نجد نفس شجرة العائلة –ولو أنَّها أكثر عمقًا وإقناعًا– تمامًا كتلك التي نتجت عن النمط الكلي للتشابهات التشريحية في كل ممالك الحياة".[٥] وبالمثل، يُحاججُ جيري كوين بأنَّ تسلسلات المورثات تؤكِّد –كل منها على حدة– نفس المجموعة من العلاقات التطوُّرية، أي نفس الشجرة التطورية، التي تنتج من التحليل التشريحي.[٦] يبدو الكيميائي في جامعة أوكسفورد بيتر أتكينز أكثر تشددًا إذ يقول: "ليس هناك مثال واحد على أي تغيرات جزيئية طفيفة لا تتوافق مع مشاهداتنا للكائنات الحيَّة ككل".[٧]

نتيجة لهذه الثقة يُهملُ علماءُ الأحياء التطوُّرية غالبًا غياب أحافير الوسائط وطلائع الحيوانات من العصر ما قبل الكامبري، ويَعتبرونه شذوذًا ثانويًا، وهو شذوذ بحاجةٍ لتفسير من نظرية كافية كاملة عن تاريخ الحياة. نظرًا لثقة علماء الأحياء التطورية بأنَّ شجرة واحدة مستمرة ذات جذر واحد هي الأكثر تمثيلًا لتاريخ الحياة –وهي التي تفسر أيضًا الكثير من الحقائق المشتتة في البيولوجيا–، فإنَّهم يعتقدون أيضًا أنَّ هذا النمط الشبيه بالشجرة يَصِفُ بدقَّة الانفجار الكامبري وتاريخ الحياة

الحيوانية في العصر ما قبل الكامبري. أيضًا، عندما يُعيدُ علماءُ الأحياء التطورية بناءَ التاريخ التطوُّري السلالي لمجموعة -بما في ذلك الحيوانات- فإنَّهم يقومون بذلك نموذجيًا بطريقة غير معتمدة على الزمن، إنَّما يَنْصَبُّ اهتمامهم عادةً على بناء ترتيب نسبي من نقاط التفرع على طول شجرة الحياة، وليس التحديد الدقيق لسلسلة من التواريخ المؤكدة التي يَحدثُ عندها التشعب. لذا، رغم أنَّ دراسات التشعب العميق لا تثبت وجود أسلاف حيوانية ما قبل كامبرية -لكل الأسباب التي ناقشناها في الفصل السابق-، إلا أنَّ عدم اليقين الذي يَحومُ حول التواريخ المذكورة في تلك الدراسات لم يقوّض ثقة معظم علماء البيولوجيا التطورية بالنموذج الشجري الكلي للحياة الحيوانية، بل ولايَزال العديدُ منهم يؤمن بأنَّ مصدر قوة فكرة شجرة الحياة الكلية يأتي من أنَّ دراسات التطوُّر السلالي phylogenetic studies للمورثات المتشابهة والصفات التشريحية تُثبتُ بشكلٍ غير مباشر وجود الأسلاف التطورية المفقودة لحيوانات العصر الكامبري، يَشرحُ كوين Coyne الأمرَ بقوله: "من المنطقي -إن كان تاريخ الحياة على شكل شجرة تَضمُّ كل الأنواع وتَخرجُ من جذع واحد- أن يجد أحدُنا أصلًا مشتركًا لكل زوج من الغصينات النهائية، يمثل كل منها نوعا موجودًا، وعبر التتبع الراجع لكل غصين منهما لنقاط تفرعه وصولًا إلى المكان الذي يتقاطعان فيه معًا، ستكون هذه العقدة هي سلفهما المشترك".[٨]

بنفس المنطق، يَفترضُ علماءُ الأحياء التطورية أن ما يظنونه صحيحًا لكل أشكال الحياة الأخرى يَنطبقُ أيضًا على أشكال الحياة الكامبرية؛ أي لابد من وجود شجرة حيوانية عامة على الرغم من غياب الدليل الأحفوري بالإضافة إلى النتائج المتضاربة لدراسات التشعب العميق.

من المفيد عند تقييم الدليل الآخر من علم الوراثة –والذي يَدعمُ هذه النتيجة– أن نُراجعَ كيف تتشابه، وكيف تختلف أيضًا، قضية شجرة الحياة الحيوانية العالمية مع فرضية التشعب العميق. لإثبات وجود شكل شجرة الحياة الحيوانية الداروينية يَستخدمُ علماءُ الأحياء التطوُّرية منذ زمن طرائق تَفترضُ أنَّ التسلسلات الجزيئية والتشابهات التشريحية تُقدِّمُ إشارة تاريخية دقيقة حول الماضي. وكدراسات التشعب العميق تفترض هذه الطرق من أجل إعادة بناء التاريخ (التطوري السلالي) أن الأنواع أو المجموعات التصنيفية الأكبر مرتبطة بانحدارها من سلف مشترك. نذكر أنَّ مصطلح التطور السلالي phylogeny يُشيرُ إلى التاريخ التطوري لمجموعة من الكائنات الحيَّة، وعليه تكون إعادة بناء التاريخ التطوري السلالي phylogenetic reconstruction محاولة لتحديد هذا التاريخ. تَفترضُ أمثال هذه الدراسات أنَّ مَدى الاختلاف بين السمات الجزيئية والتشريحية بين كل زوج من الكائنات الحية يُشيرُ إلى القدم الزمني لتشعبهما من سلف مشترك واحد، وتَستخدمُ أمثال هذه الدراسات أيضًا تصحيحات مستقلة على الساعة الجزيئية لحساب الزمن الدقيق للتشعب.[٩]

وبخلاف دراسات التشعب العميق التي تُحاولُ إثبات وجود زمن تشعب وحيد –كإيجاد السلف المشترك الذي تشعبت منه كل الشعب الحيوانية– فإنَّ هذه الدراسات التطورية السلالية تَبحثُ أكثر في التفاصيل، وتَسعى لإثبات الخطوط العريضة لشجرة الحياة الحيوانية ما قبل الكامبرية. يَشملُ هذا تقييم درجات: ١– العلاقة بين ممثلي الشعب الكامبرية لإثبات نقط التشعب المتعددة وأزمنتها (عقد التفرع على شجرة الحياة). ٢– العلاقات بين المجموعات الكامبرية الرئيسية.

يُوظِّفُ الباحثون هذه الطرائق رغم غياب الدليل الأحفوري المثبت، ويَشرحُ الجيولوجي من كلية أوكسيدنتال Occidental دونالد بروثيرو Donald Prothero في كتابه المنهجي حول التطوُّر والأحافير في الصفحة التالية لتلك التي ملأها برسم توضيحي يَصِفُ المظهر المتقطع لحيوانات العصر الكامبري في السجل الأحفوري، يقول: "إن كان السجل الأحفوري فقيرًا بما يَخُصُّ مجموعة واحدة، فإننا ننظر إلى مصادر أخرى للبيانات"، ويستنتج أن اثنين من مصادر البيانات هذه –البيانات التشريحية والجزيئية– الآن "يتقاربان نحو إجابة مشتركة"، وهي إجابة "تُمثِّلُ الحقيقة بأوكد ما نستطيع، وبقدر ما نستطيع استخدام هذا المصطلح في العلم".[١٠]

لكن هل كل هذا حقيقة؟ هل يثبِت حقًا تحليل التشابهات التشريحية والجينية لحيوانات العصر الكامبري أنَّ أفضل وصف لتاريخ الحياة الحيوانية هو شجرة متفرعة مستمرة؟ هل يصف نمط الشجرة المتفرعة تاريخ الحياة الحيوانية الكامبرية وما قبل الكامبرية بدقَّة؟ وهل يُثبتُ خلال ذلك وجود الأشكال ما قبل الكامبرية التي يَفشلُ السجل الأحفوري في توثيق وجودها؟

شجرة الحياة الحيوانية الكامبرية وما قبل الكامبرية

حَدثَ التاريخُ مرةً واحدة، لذا فإن كان ريتشارد دوكنز محقًا عندما قال: "هنالك –في نهاية المطاف– شجرة حقيقية وحيدة للحياة، هي النمط الفريد للتفرعات التطورية التي حَدثَت حقًا"[١١] فإنَّ التاريخ التطوري قد حَدثَ مرة واحدة فقط. لو فكرنا في الأشجار التطورية التي تصفُ العلاقات بين المجموعات الحيوانية، كفرضيات حول التاريخ غير القابل للمشاهدة –هذا التاريخ هو الأشجار

التطورية–، فإنَّ وجود فرضيتين متعارضتين أو أكثر لتفسير التاريخ الذي حدث مرة واحدة –التاريخ الحقيقي– يعني أنَّنا لم نكتشف ما الذي حدث يومها بالضبط. يَشرحُ ذلك كتاب منهجي مستخدم على نحو واسع حول طرائق التطور السلالي: "الحقيقة أنَّه توجد شجرة حقيقية واحدة فقط ... توفِّر الأساس لاختبار الفرضيات البديلة. إن وُضعت فرضيتان لنفس المجموعة من الأنواع فيجب أن نستنتج أن واحدة منهما –على الأقل– خطأ. بالطبع، من الممكن أن تكون كلتاهما خطأ، وأنَّ شجرة ثالثة هي الحقيقية".[١٢]

عندما يَدعمُ نصّ الدليل فرضيات متعددة متضاربة، فلا يُمكن للدليل أن يرسل إشارات تاريخية حاسمة حول ما جرى في الماضي، وربَّما يعني هذا إمكانية أنَّه لا يرسل أية إشارة تاريخية مطلقًا. على النقيض، عندما يقود الدليل الباحثين للْحَوم حول فرضية تاريخية واحدة –وذلك عندما تحلُّ فرضية واحدة كل الألغاز المطروحة–، سيكون من المرجح عندها أنَّ الدليل يخبرنا بما حدث فعلًا.

تخيَّل –عن طريق الرسم– حالة نعرف فيها القصة الحقيقية لعلاقة (سلف–عقب) لنرى كيف أن باستطاعة الدليل أن يوصلنا للدوران حول تاريخ واحد لا لبس فيه. بين عامي ١٨٣٩ و١٨٥٦ أنجب تشارلز داروين وزوجته إيمّا عشرة أطفال مرتبة أسماؤهم ألفبائيا كالتالي:

Anne

Charles

Elizabeth

Francis

George

Henrietta

Horace

Leonard

Mary

William

ليس هذا الترتيب الألفبائي هو تَرتيبُ ولادتهم بكل تأكيد، لكن هذه القائمة هي أحد الاحتمالات الممكنة لترتيب الأطفال حسب تاريخ ميلادهم، وواحد فقط من تلك الاحتمالات صحيح. في الواقع، واحد فقط من هذه القوائم المرتبة تمثل تاريخ عائلة تشارلز داروين.

افترض الآن أني أعطيتك وبعض الأصدقاء كومةً من الأدلَّة التاريخية حول أطفال داروين وسألتكم أن تأتوني بالترتيب الصحيح لولادتهم، لن يَعتبرَ أحد أنكم حللتم اللغز إن أتيتم بأكثر من قائمة واحدة، لكن إن رجعتم بقائمة واحدة مترابطة منطقيا حول ترتيب ميلاد الأطفال مدعومًا بالدليل من شهادات الميلاد ورسائل العائلة والصور من أرشيف عائلة داروين، عندها سيكون ذلك دليلًا مقنعًا بأنَّكم حصلتم على الحلِّ الصحيح. وطالما أنَّ تاريخًا واحدًا فقط قد حصل فعلًا، فإنَّك بمجرَّد معرفتك له ستجد أنَّ الدليل يَتوافق تمامًا معه.

لكن هل الدليل على شجرة الحياة الحيوانية ما قبل الكامبرية يَتوافقُ بالمثل مع التاريخ، أم أنَّه يولّد قصصًا تاريخية متعارضة؟ رأينا سلفًا أن الدليل الأحفوري لا يُشيرُ إلى شجرة حياة حيوانية محددة للعصر ما قبل الكامبري، وربَّما لا يُشيرُ إلى

أية شجرة على الإطلاق. رأينا أيضًا أنَّ الدليل الجيني وحده لا يُثبتُ نقطة تشعب واحدة لتطور الحيوانات. لكن ماذا عن الدليل الجيني والتشريحي معًا؟ هل يَصل هذان الدليلان إلى رواية تاريخية واحدة لحياة الحيوانات؟ إن كان الأمر كذلك فسيعوضان النقص في الدليل الأحفوري، وإلا فسيُطرح علينا سؤال واضح: هل تُرسلُ القرابة التشريحية والجينية الموجودة بين الشعب الكامبرية إشارات تاريخية أصلًا؟

تواريخ متضاربة

هناك عدة أسباب للشكِّ في أنَّ الدليل المستنبط من التشابهات الجينية والتشريحية يُرسلُ إشارات يُمكن الاعتماد عليها حول التاريخ المبكر للحياة الحيوانية:

- أولًا، كثيرًا ما تولّد مقارنات الجزيئات المختلفة أشجارًا متباينة.
- ثانيًا، كثيرًا ما تولّد مقارنات الصفات التشريحية والجزيئات أشجارًا مختلفة.
- ثالثًا، تتعارض غالبًا فيما بينها الأشجار المبنية على الصفات التشريحية المختلفة فقط.

هلموا لنتفحَّص كل معضلة.

جزيئات في مواجهة جزيئات

تمامًا كما أنَّ البيانات الجزيئية لا تُشيرُ بشكلٍ قاطع إلى تأريخ date واحد للسلف المشترك الأخير للحيوانات الكامبرية (نقطة التشعب العميق) فإنَّها أيضًا لا تُشيرُ بشكلٍ قاطع لشجرة واحدة مترابطة منطقيًا تُصورُ تطوُّر الحيوانات في العصر

ما قبل الكامبري. تُشير العديد من الأوراق البحثية لتفشِّي ظاهرة الأشجار المتعارضة، المبنية على أدلَّة من علم الوراثة الجزيئي. تشيرُ ورقة نشرت عام ٢٠٠٩ بمجلة اتجاهات في علم البيئة والتطور Trends in Ecology and Evolution إلى أنَّ: "الأشجار التطورية المبنية على أساس مورثات غالبًا ما تحتوي أنماط تفرع متعارضة".[١٣] بالمثل، تُقرُّ ورقة نشرت عام ٢٠١٢ بمجلة المراجعات الأحيائية Biological Reviews أنَّ: "تَعارض التطور السلالي شائع، ووجوده طبيعي وليس استثناء".[١٤] ويُردد مثل هذه الأقوال موضوع الغلاف والمقالة المحكّمة لعدد يناير من عام ٢٠٠٩ من مجلة العالِم الجديد New Scientist، إذ تلاحظ أنَّ مشاريع أشجار الحياة اليوم "في حالة يُرثى لها، ويُمزقها الدليل المخالف إلى أشلاء"، كما تَشرحُ المقالة: "يُجادلُ العديدُ من علماء الأحياء الآن بأنَّ مفهوم الشجرة قد مات فعلًا، ولابد من رميه جانبًا"، لأنَّ الدليل يَقترحُ "تطور الحيوانات والنباتات ليس على شكل شجرة تمامًا".

تَستشهدُ مقالة في مجلة The New Scientist بدراسة لعالم الأحياء من جامعة كاليفورنيا في Davis مايكل سيفانين Michael Syvanen، والذي درَس العلاقات بين عدة شعب ظهرت لأول مرة في العصر الكامبري.[١٥] قارنت دراسة سيفانين Syvanen بين ألفين من المورثات في ستة حيوانات تُمثِّلُ الشعب المتنوعة، كالحبليات chordates وشوكيات الجلد echinoderms ومفصليات الأرجل arthropods والديدان المدورة nematodes، لكن تحاليله لم تؤدِّ إلى نَمط شجري متين. وكما ذَكَرَت المجلة: "نظريًّا، ربَّما كان بإمكانه استخدام تسلسلات المورثات لبناء شجرة تطوُّرية تظهر علاقات بين الحيوانات الستة، لكنَّه فَشِلَ، ويَعودُ ذلك إلى أنَّ المورثات المختلفة تلك تُخبرنا بروايات تطوُّرية متعارضة".

لخَّص سيفانين بنفسه النتائج بعبارات فجَّة: "لقد أبطلنا للتو فكرة شجرة الحياة، ليس هناك أي شجرة بعد الآن، إنَّها الطوبولوجيا topology –يقصد نمط التاريخ– مختلفة تمامًا، فما الذي كان سيفعله داروين حيال هذا".[16]

واجَهت الدراسات الأخرى التي حاولت توضيح التاريخ التطوري والعلاقات التطورية السلالية بين الشعب الحيوانية مصاعبَ مماثلة، إذ اِعتَرَفَ خَبيرُ التصنيف الجزيئي من جامعة Vanderbilt الأحيائي أنتونيس روكاس Antonis Rokas – وهو الرائد من بين الأحيائيين الذين يستخدمون البيانات الجزيئية لدراسة العلاقات التطورية السلالية– أنَّه ولقرن ونصف من الزمن بعد كتاب أصل الأنواع "ظلَّت معضلة إيجاد شجرة دقيقة وكاملة للحياة هدفًا محيرًا"[17]، وفي عام ٢٠٠٥، أثناء مقرَّر الدراسات الموثوقة authoritative study، ساهم روكاس Rokas أخيرًا في كتابة مقال بمجلة العلم Science، واجه فيه هذه الحقيقة القاسية. تَطلَّعت الدراسة لتحديد التاريخ التطوري للشعب الحيوانية بتحليل ٥٠ مورثة موزعة في ١٧ مجموعة تصنيفية، وكان يأمل بإنتاج شجرة تطوُّر سلالي واحدة مسيطرة، كما أعلن روكاس Rokas وزملاؤه أنَّ "استخدام بيانات تحليل مجموعة من المورثات لم يَحل معضلة العلاقات بين معظم شعب التوالي metazoa"؛ لأنَّ الناتج كان عددًا كبيرًا من الإشارات التاريخية والتطورية المتعارضة، جاءت النتيجة النهائية غير متحيزة: "رغم الكم الكبير من البيانات واتساع البحث ليشمل مجموعات تصنيفية أكثر، إلا أنَّ العلاقات بين شعَب التوالي ظلَّت معلقة دون حل".[18]

ثم في السنة التالية مَضَى روكاس والأحيائي من جامعة ويسكونسن – الموجودة في ماديسون– Sean B. Carroll أبعد من ذلك ليؤكدا "صعوبة حلِّ معضلة أجزاء مهمة محددة من شجرة الحياة TOL بصرف النظر عن كمية البيانات

التقليدية المتاحة".[19] تَنطبقُ هذه المشكلة بشكلٍ خاص على العلاقات بين شعَب الحيوانات، والتي "أعلنت العديد من الدراسات دَعمها لعدة طرق بديلة متعارضة من التطور السلالي".[20] إذ وجد الباحثون الذين يَدرسون شجرة الحياة الحيوانية أنَّ "قسمًا كبيرًا من المورثات المغردة تؤدِّي إلى نتائج تطور سلالي منخفضة الجودة"، كدراسة –مثلًا– "حَذفت ٣٥% من المورثات المفردة من نتائج البيانات لأنَّها أنتجَت سلاسل تطوُّرية مخالفة للحس السليم".[21] وقد حاول لوكاس وكارول تفسير العديد من الأشجار التطورية المتناقضة بافتراض أنَّ الشعب الحيوانية ربَّما تطوَّرت بسرعة لا تتيح للمورثات حفظ بعض الإشارات عن العلاقات التطورية السلالية في الجينوم الخاص بكل منها، ورَأوا أنَّه إن كانت العمليات التطورية مسؤولة عن ظهور التغيرات التشريحية بسرعة كافية فلن يكون هناك وقت كاف لتجمّع التباينات في واصمات جزيئية molecular markers، خصوصًا تلك المستخدمة للاستدلال على العلاقات التطورية بين مُختلف الشعب الحيوانية. بالتالي، وبوجود الوقت الكافي، ستحذف كل إشارة وجدت يومًا ما، لذا عندما تتفرَّع مجموعات من الكائنات الحيَّة بسرعة لتتطور بعدها بشكلٍ منفصل، ولفترة طويلة من الزمن، فربَّما تُسحق الإشارات التاريخية الصحيحة"[22]، ما يؤدِّي إلى العجز عن تحديد العلاقات التطورية.

تَضعُ هذه المقالة المنشورة الجدل حول الانفجار الكامبري في حلقة مفرغة من محاولة استخدام المورثات لتجاوز عقبة غياب الدليل الأحفوري إلى الاعتراف بعدم نقل المورثات لأي إشارات واضحة حول العلاقات التطورية بين الشعب التي حُفظت أول مرة في أحافير العصر الكامبري. قاد منطق هذا التحليل إلى نتيجة مألوفة جدًا. ونظرًا لإظهار اختبار الواصمات المورثية المفتاحية –مثل المورثات التي

يُقتفى أثرها في دراسات الساعة الجزيئية، والتي يُفترضُ أن تتجمع فيها الطفرات بمعدل ثابت- عددًا منخفضًا من التباينات في الطفرات بين الشعب الحيوانية الكامبرية، فقد استنتج روكاس وكارول من الدليل المورثي على وجه التحديد أنَّ الشعب قد تباعدت عن بعضها تطوريًا بشكلٍ سريع، وكما قالا في ورقة منشورة أخرى: "تَدعمُ الاستنتاجات المبنية على هذين الدليلين المستقلين -الجزيئي والأحفوري- النظرة القائلة بأنَّ أصل التوالي Metazoa بدأ بشكل إشعاع في فترة وجيزة".[٢٣] لذا سَيَفشَلُ كل عمل يَسعى لبناء شجرة تطوُّرية لشعب الحيوانات انطلاقًا من البيانات الجزيئية، سيفشل في إثبات نمط التطور من العصر ما قبل الكامبري، وسيؤكد للمرة الثانية السرعة الهائلة لنشوء الأشكال الحيوانية الكامبرية.

الجزيئات في مواجهة التشريح

في عام ١٩٦٥ اِفتَرَضَ الكيميائي لينوس باولينغ Linus Pauling والأحيائي إيميل زوكركاندل Emile Zuckerkandl -والمعروفان غالبًا بـ(والِدَيّ) مفهوم الساعة الجزيئية- طريقة صارمة لتأكيد التطور السلالي، إذ اقترحا أنَّ إيجاد التوافق بين أشجار التطور السلالي الناتجة عن دراسات التشريح المقارن وعن دراسات تسلسلات الـDNA سَيكونُ "أفضل إثبات منفرد متاح نَستَطيعُ إيجاده لحقيقة التطور الكبروي macroevolution"[٢٤]، واستطردا قائلين: "نظرية التطوُّر فقط... هي القادرة منطقيًا على تَفسير الانسجام بين الأدلة المستقلة عن بعضها البعض".[٢٥] بالتركيز على هذين الدليلين المستقلين وعلى إمكانية تلاقيهما أو تعارضهما قدَّم كل من باولينغ وزوكركاندل طريقة واضحة قابلة للقياس لاختبار فرضية الداروينية الجديدة حول السلف العام المشترك.

وفقًا لبعض العلماء فقد أكَّدت دراسة التناظرات homologies الجزيئية التوقعات حول تاريخ الشعب الحيوانية المفترضة من دراسات التشريح المقارن. وادّعى دوغلاس تيوبالد Douglas Theobald –بعد استشهاده باختبار باولينغ وزوكركاندل– في دليله التاسع والعشرين على التطور الكبروي أنَّ: "أشجار التطور السلالي المحددة جيدًا والمستنبطة من الدليلين المستقلين –المورفولوجيا والتسلسلات الجزيئية– مترابطة إلى درجة عالية جدًا من الأهمية الإحصائية".[٢٦]

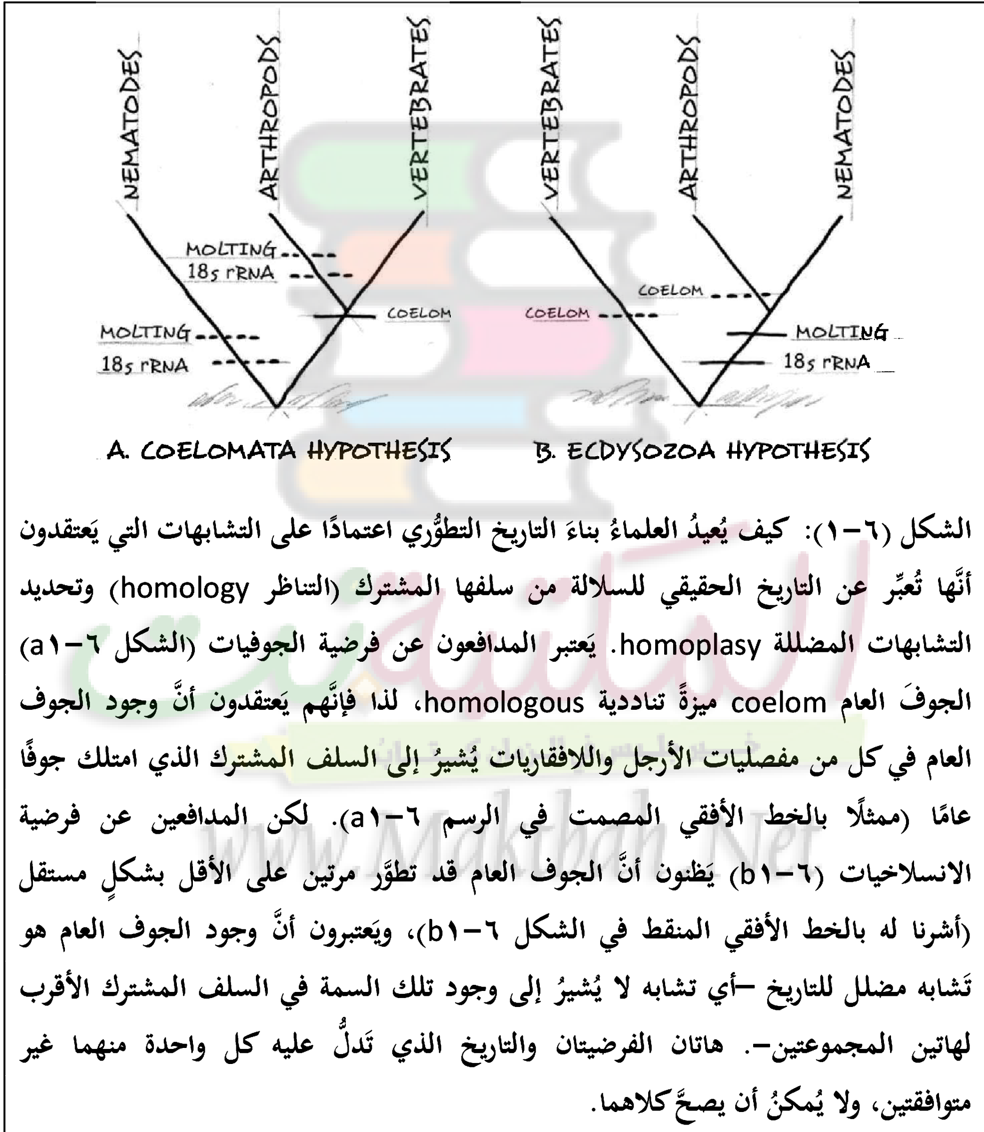
لكنْ في الحقيقة، تُخبرنا التفاصيل التقنية المنشورة قصة مختلفة تمامًا، إذ تَفشلُ الدراسات حول التناظرات الجزيئية غالبًا في مطابقة الأشجار التطورية المشتقة من دراسات التشريح المقارن –واللتان تصفان تاريخ الشعب الحيوانية–، إذ بدأت بعض الدراسات خلال التسعينيات ومنذ فجر ثورة الوراثة الجزيئية بإظهار التناقض الشائع في أشجار التطوُّر السلالي المشتقة من التشريح والمشتقة من الجزيئات.

ربَّما يَخصُّ النزاع الأطول من هذا النوع (التاريخَ التطوري المقبول) بشكلٍ واسع للحيوانات ثنائية الجانب bilaterian، وهذه الخطَّة في التصنيف كانت في الأصل من ابتكار عالمة الحيوان الأمريكية ذات التأثير ليبي هايمان Libbie Hyman[٢٧]، حيث تَستندُ رؤيتها –والمعروفة عمومًا بفرضية الجوفيات Coelomata– على تحليلها للصفات التشريحية، وخصوصًا الطبقات المنتشة germ layers –أو ما يُعرفُ بالنسيج الأولي– ومستويات تناظر الجسم، أضِف إلى ذلك تحديدًا وجود أو غياب الجوف المركزي للجسم أو ما يُعرفُ بالجوف العام coelom والذي أعطى الفرضية اسمها. تصنف الحيوانات ثنائية الجانب bilaterian وفق فرضية الجوفيات في ثلاث مجموعات: اللاجوفيات

Acoelomata وذوات الجوف العام الكاذب Pseudocoelomata والجوفيات Coelomata، وتَشملُ كل منها عدة شعب حيوانية ثنائية الجانب.[٢٨](الشكل ٦-١a)

بعد ذلك وفي منتصف التسعينيات ظَهَرَ على السطح افتراض جديد يُرتِّبُ هذه الحيوانات في تصانيف جديدة، استنادًا إلى تحليل الجزيئات الموجودة في كل منها -الـRNA الريبوزومي 18S-.(الشكل ٦-١b) نَشرَ الفريق الذي افترض هذا الترتيب الجديد ورقة مزلزلة في مجلة الطبيعة Nature تحت عنوانٍ فاجأً العديد من علماء المورفولوجيا: (الدليل على مجموعة تصنيفية جديدة تَضمُّ الديدان المدورة Nematodes ومفصليات الأرجل وغيرها من الحيوانات التي تمرُّ بمرحلة الانسلاخ Molting)[٢٩]، وذَكَرَت الورقة الحكمة التقليدية المبنية على فرضية هايمان بأنَّ مفصليات الأرجل والديدان العلقية annelids قريبان جدًا من بعضهما، لأنَّ لكل من هاتين الشعبتين مخططًا جسديًا مفصصًا[٣٠]، لكن دراسة الـ(RNA الريبوزومي 18S) يقترح تصنيفًا مختلفًا يَجعلُ من مفصليات الأرجل قريبة من الديدان المدورة في مجموعة الحيوانات التي تَتعرَّضُ للانسلاخ، وسموها الانسلاخيات Ecdysozoa. فاجأت هذه العلاقة الجديدة الكثير من علماء التشريح نظرًا للتباعُد الكبير في شكل مفصليات الأرجل عن شكل الديدان المدورة، فمفصليات الأرجل -كثلاثيات الفصوص والحشرات- لها جوف عام، بخلاف الديدان المدورة -كالدودة الصغيرة Caenorhabditis elegans-، مما قادَ العديدُ من علماء الأحياء التطورية إلى تصديق أنَّ الديدان المدورة تَفرعت باكرًا عن الحيوانات، وترتبط بعلاقة بعيدة مع مفصليات الأرجل.[٣١] وقد وضحت هذه الورقة العلمية إلى أي حد كان يُستبعد تصنيف مفصليات الأرجل والديدان المدورة

في مجموعة واحدة: "كان من المُفاجئ في البداية –نظرًا إلى المورفولوجيا المتباينة للغاية والسمات الجنينية وتاريخ حياة الحيوانات التي تَخضعُ للانسلاخ– أن تجمعهما شجرة الحياة المبنية على الـRNA الريبوزومي".[٣٢]



الشكل (٦–١): كيف يُعيدُ العلماءُ بناءَ التاريخ التطوُّري اعتمادًا على التشابهات التي يَعتقدون أنَّها تُعبِّر عن التاريخ الحقيقي للسلالة من سلفها المشترك (التناظر homology) وتحديد التشابهات المضللة homoplasy. يَعتبر المدافعون عن فرضية الجوفيات (الشكل ٦–١a) الجوفَ العام coelom ميزةً تناددية homologous، لذا فإنَّهم يَعتقدون أنَّ وجود الجوف العام في كل من مفصليات الأرجل واللافقاريات يُشيرُ إلى السلف المشترك الذي امتلك جوفًا عامًا (ممثلًا بالخط الأفقي المصمت في الرسم ٦–١a). لكن المدافعين عن فرضية الانسلاخيات (٦–١b) يَظنون أنَّ الجوف العام قد تطوَّر مرتين على الأقل بشكلٍ مستقل (أشرنا له بالخط الأفقي المنقط في الشكل ٦–١b)، ويَعتبرون أنَّ وجود الجوف العام هو تَشابه مضلل للتاريخ –أي تشابه لا يُشيرُ إلى وجود تلك السمة في السلف المشترك الأقرب لهاتين المجموعتين–. هاتان الفرضيتان والتاريخ الذي تَدلُّ عليه كل واحدة منهما غير متوافقتين، ولا يُمكنُ أن يصحَّ كلاهما.

نظرًا لكون فرضية الانسلاخيات مطروحة أولًا فقد عارضها بشدة العلماء الآخرون، مؤكدين فرضية الجوفيات مرة أخرى بناء على تحليل دليل جزيئي آخر[٣٣]، في حين دافع أنصار الانسلاخيات بشدة مؤكدين على أنَّ الدليل الجيني المتاح والمفسّر بشكل جيد يدعم فرضية الانسلاخيات، وليس فرضية الجوفيات.[٣٥]

أريدُ من تلخيصي لهذا الجدال أن أذكرَ ببساطة أنَّ البيانات الجزيئية والتشريحية مُتعارضة بحيث يُمكنُ أن تجد أنصارًا لكل طرف، فالجدال دائم ومستمر، لذا تكون عبارات دوكنز وكُويْن وغيرهما عن أنَّ كل الأدلة –الجزيئية والتشريحية– تَدعمُ شجرةً حيوانيةً واحدةً واضحةً هي عبارات خطأ. كما يُمكنُ أن نرى بسهولة بمقارنة الشكلين (٦-a١) و(٦-b١)[٣٦] تَعارض هاتين الفرضيتين، الانسلاخيات والجوفيات، ورغم إمكانية خطئهما معًا، إلا أنَّ أحدهما غير صحيحة حتما.

وَجدت العديد من الأوراق البحثية التي تُحلل مجموعات تناقضات أخرى مشابهة بين الإصدار الجزيئي لشجرة الحياة الحيوانية والإصدار المورفولوجي، فقد ذكرت ورقة بحثية نشرتها مجلة العلم Science لكل من لورا مالي Laura Maley وتشارلز مارشال Charles Marshall أنَّ: "العلاقات بين الحيوانات، والمشتقة من هذه البيانات الجزيئية الجديدة، مختلفة أحيانًا عن تلك التي تقتضيها التقييمات الكلاسيكية الأقدم للمورفولوجيا".[٣٧] فمثلًا، عند استخدام الرُّتَيلْاء tarantulas كممثل لمفصليات الأرجل؛ صُنِّفت مفصليات الأرجل عندها أقرب للرخويات mollusks منها إلى ثنائيات الفم deuterostomes –الحيوانات التي طورت الشرج أولًا ثم الفم–، وهذا منطقي لأن كلًا من الرخويات ومفصليات الأرجل من مَسَمِّيّات الفم protostomes –الحيوانات التي طورت الفم أولًا ثم

الشرح بعد ذلك-، لكن عند استخدام القريدس البحري brine shrimp كممثل عن مفصليات الأرجل، أصبحت حينها غريبة عن الرخويات. تصنف الرخويات الآن أقرب ما يكون من ثنائيات الفم وبعيدًا عن مفصليات الأرجل -كنتيجة مخالفة بكل وضوح للتطور السلالي التقليدي المبني على السمات التشريحية.[٣٨]

يَزخَر الوسط العلمي بأمثلة على مثل هذا، صُنف الإسفنج في السلالات التطورية في قاعدة شجرة الحياة الحيوانية وتتشعب منها الشعب باتجاه التعقيد المتزايد -مثل القراصات cnidarians والديدان المسطحة flatworms والديدان المدورة-، لكن لاحظ كل من فالنتاين وجابولنسكي وإيروين أنَّ الجزيئات "تُشيرُ لتهايؤ مختلف تمامًا" للشجرة، حيث تَتفرَّعُ بعض شعب ثنائيات الفم الأرقى باكرًا جدًا، في حين تتفرع شعب أخرى أقل تعقيدًا في وقت متأخر جدًا.[٣٩]

بالمثل، تَقترحُ الدراسات المورفولوجية أنَّ كلًا من الديدان الحدودية phoronids (الشكل ٣-٦) وذراعيات الأرجل brachiopods (الشكل ١-٣) -وكلاهما حيوانات بحرية تتغذّى بترشيح المغذيات من المياه- هي من ثنائيات الفم، لكن الدراسات الجزيئية تُصنفها ضِمنَ مَسَمِّيّات الفَم.[٤٠] تقتضي الدراسات المورفولوجية -نمطيًّا- أن تكون الإسفنجيات أحادية النمط الخلوي monophyletic، أي أنَّ كلها تَندرجُ في فرع خاص في شجرة الحياة، بسبب تشكيلة جسمها المميزة، لكن الدراسات الجزيئية تَقترحُ أنَّ الإسفنجيات لا تَنتمي لمجموعة واحدة فقط، إنَّما تكون بعض الإسفنجيات أقرب للأسماك الهلامية منها لبعض الإسفنجيات الأخرى.[٤١]

تَملكُ القرّاصات Cnidarians والمِمْشَطِيّات ctenophores مخططًا جسديًا متشابها، قاد العديد لتوقع قرابتهما القوية على أساس المورفولوجيا، لكن البيانات الجزيئية أبعَدَت بينهما بشكلٍ مهم.[٤٢] وكما تذكر مقالة مراجعة review article أساسية نشرت في مجلة الطبيعة Nature في عام ٢٠٠٠: "لا تُشابه الأشجار التطوُّرية المبنية على دراسة الجزيئات البيولوجية غالبًا تلك الأشجار المبنية على المورفولوجيا".[٤٣] والمشكلة لا تتجه نحو الحل بمرور الزمن، إذ تَعترفُ ورقة بحثية نشرت عام ٢٠١٢ أنَّ مجموعات البيانات الأكبر لا تحل هذه المشكلة: "إنَّ عدم التوافق بين الأصول التطورية المشتقة من التحليل المورفولوجي وتلك المشتقة من التحليل الجزيئي –وأيضًا بين الأشجار المبنية على المجموعات المتباينة من التسلسلات الجزيئية فيما بينها– قد أصبح منتشرًا نتيجة التوسع السريع لمجموعات البيانات التي تخصُّ كلًا من الصفات والأنواع".[٤٤]

قادَت حقيقة وجود تناقضات واسعة الانتشار بين البيانات الجزيئية والبيانات المورفولوجية –والأشجار المبنية على جزيئات متعددة فيما بينها– البعضَ لاستنتاج أنَّ باولينغ وزوكركاندل كانا مخطئين بافتراضهما أنَّ درجة التشابه تُشيرُ إلى درجة التقارب التطوُّري.[٤٥] وكما يقول Jeffrey H. Schwartz وBruno Maresca في مجلة النظرية البيولوجية Biological Theory: "يُشتق هذا الافتراض من تفسير التشابهات –أو التباينات– الجزيئية بين المجموعات التصنيفية في إطار النموذج الداروِيني للتغير التدريجي والمستمر. تكشف مراجعة تاريخ التصنيف الجزيئي وادِّعاءاته في سياق البيولوجيا الجزيئية عدم وجود أساس للافتراض الجزيئي".[٤٦]

تشريح في مواجهة تشريح

أثبتت محاولات استنتاج صورة متوافقة لتاريخ الحياة الحيوانية بناءً على تحليل الصفات التشريحية لحيوانات مختلفة أنَّها غيرُ قابلة للحلِّ. ففي المقام الأوَّل هناك مُشكلة عامة ومستعصية في محاولة استنباط التاريخ التطوُّري لشعب الحيوانات من الصفات التشريحية المتشابهة. إنَّ عدد الصفات التشريحية المشتركة التي يُمكنُ استنباط العلاقات التطوُّرية منها على مستوى الشعب –أي عندما يُقارن أحدُنا الشعب مع بعضها ويُحاولُ تحديد ترتيبها التطوري– ينخفض بحدة مذهلة، وهناك سبب منطقي لهذا، فهناك صفة تشريحية كالرِجْلِ مثلًا مفيدة في تشخيص ومقارنة مفصليات الأرجل التي تملك أرجلًا، لكنَّها غير مفيدة في المقارنة بذراعيات الأرجل brachiopods مثلًا أو الحيوانات الطحلبية bryozoans التي لا تَملكُ أرجلًا أصلًا. بنفس الطريقة ربَّما تُساعدنا السمات البنيوية الأساسية للأنظمة التي يُصممها البشر، كخاصية منع تسرُّب الماء بين كامل هيكل الغواصة من جهة وبين الجهة السفلية من السفن السياحية فقط. لكن قد لا يكون لهذه الصفة أي علاقة في مسألة المقارنة والتصنيف، فهناك أيضًا الجسور المعلقة والدرَّاجة النارية وشاشات التلفاز المسطَّحة. وبنفس الطريقة يَجدُ علماءُ البيولوجيا أنَّ هناك مجموعة صغيرة فقط من الصفات عالية التجرُّد متاحة لإجراء مقارنات مورفولوجية بين أشكال الحيوانات المتعددة للغاية، كتناظر symmetry الجسم الشعاعي radial أو الثنائي bilateral، أو كعدد طبقات النسج البدئية –ثلاثي الأرومات (الطبقات) triploblasty، مقابل ثنائي الأرومات diploblasty–، أو كنمط جوف الجسم الموجود –جوف عام حقيقي، جوف كاذب، بلا جوف–. ومع ذلك يُدافعُ علماءُ البيولوجيا التطورية غالبًا عن صلاحية هذه الصفات –بدلا من الصفات المجردة–

كدليل على التاريخ التطوري.[٤٧] أضِف إلى ذلك أنه كما تتناقض الأشجار المبنية على تحليل مجموعات مختلفة من المورثات المتشابهة أو البروتينات، فإنَّ الأشجار المبنية على أساس الصفات التشريحية والنمائية المختلفة غالبًا ما تتعارض.

عندما يَبني البيولوجيون أشجار تطوُّر سلالي على أساس الصفات التشريحية فإنَّهم يصنفون الشعب الحيوانية نمطيًا وفق وجود أو غياب عدد من الصفات الأساسية، فمثلًا، تَصنف الشجرة الحيوانية المعيارية المبنية على أساس التشريح الحيوانات وفقًا لنمط تناظر symmetry الهيكل الجسدي، ووفق نمط نمو هذا الهيكل. وكما ذكرنا سابقًا، تُصنَّف كل الحيوانات التي تَملكُ تناظرًا مرآتيا وفق المحور العمودي (الرأس–الذيل) في مجموعة متناظرات الجانبين، في حين تُصنَّف الحيوانات ذات التناظر الشعاعي (أو عديمة التناظر) خارج هذه المجموعة. يُميز خبراء التصنيف داخل مجموعة متناظرات الجانبين مجموعات رئيسية أخرى – ثنائيات الفم ومَسَمّيّات الفم– بناءً على أنماطها المختلفة في نمو الهيكل الجسدي: أي (الفك أولًا) أو (الشرج أولًا).

تَطفو هنا صعوبة في إتمام مشروع شجرة الحياة الحيوانية عندما يَنظرُ علماءُ البيولوجيا التطورية إلى كيفية توزع صفة أساسية محددة؛ ألا وهي نمط تشكل الخلايا الجنسية، في مجموعات متنوعة.[٤٨] (الشكل ٦–٢) تُنتج الخلايا الجنسية النطاف والبيوض –في أي نوع متكاثر بالجنس– أو الأعراس –في أي نوع متكاثر لا جنسيّا– مؤدية لنشوء الجيل التالي.[٤٩] لدى الحيوانات طريقتان أساسيتان لتوليد الخلايا الجنسية، في النمط الأول من تشكل الخلايا الجنسية –يُعرف بالتكون المسبق preformation– تَرِثُ الخلايا إشارات داخلية من موضع داخل البنية الخلوية نفسها لتصبح خلايا جنسية (موضحة بالمربعات السوداء المصمتة في

الشكل ٦-٣a)، أمَّا في النمط الآخر لتوليد الخلايا الجنسية -وهو ما يُعرف بالتخلُّق المتوالي epigenesist- تَستقبل الخلايا الجنسية إشارات خارجية من النسج المحيطة، لتصبح خلايا جنسية بدئية PGCs.(موضحة بالمربعات البيضاء المصمتة في الشكل ٦-٣b)

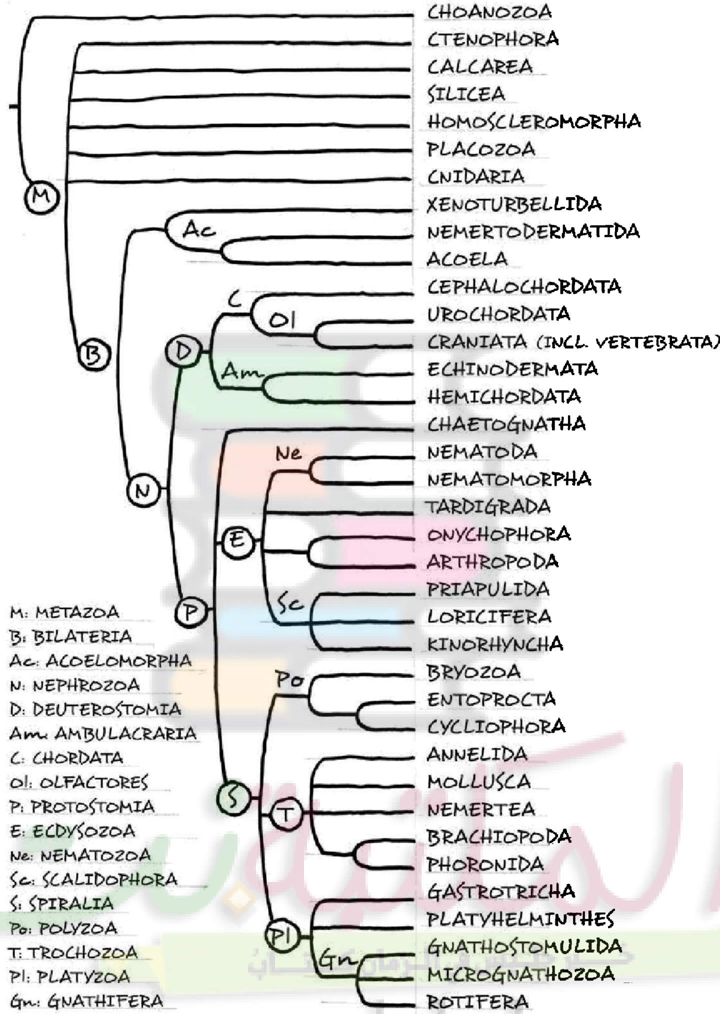
إنَّ لتشكل الخلايا الجنسية قيمة تطورية لا يُنازع عليها، فلتتطور الجماعة أو النوع يَجبُ أن تترك ذرية، ولابد أن تقوم أنواع الحيوانات -لتترك ذرية- بتوليد خلايا جنسية بدئية. إنَّ غياب هذه الخلايا يَعني غياب التكاثر، وغياب التكاثر يَعني غياب التطوُّر.

لذا، فإنَّ على أحدنا أن يتوقَّع أنَّه إن كانت مجموعة من الحيوانات بكاملها مشتقة من سلف مشترك -ولها نمط محدد لإنتاج الأعراس- فإنَّ نَمط تشكيل الخلايا الجنسية يجبُ أن يكون بالضرورة متماثلًا بين النوع الحيواني والنوع الذي يليه في نفس المجموعة. بل أبعد من ذلك، وبافتراض السلفية المشتركة لكل الحيوانات، فإنّ تَقييمنا لأهمية الأنماط المتناظرة في تَشكيل الخلايا الجنسية بين الحيوانات يجبُ أن يكون أعلى من أي نمط نسيجي أو خط خلوي أو حتى نمط نمو جنيني آخر. لماذا؟ لأنَّ الطفرات التي تؤثِّرُ على الآليَّات النمائية التي تُسيطرُ على تَشكُّل الخلايا الجنسية البدئية PGC ستشوش حكمًا على التناسل الناجح.[٥٠] مرة أخرى، إنْ عَجَزَ النوع عن التكاثر فلن يتطوَّر.[٥١]

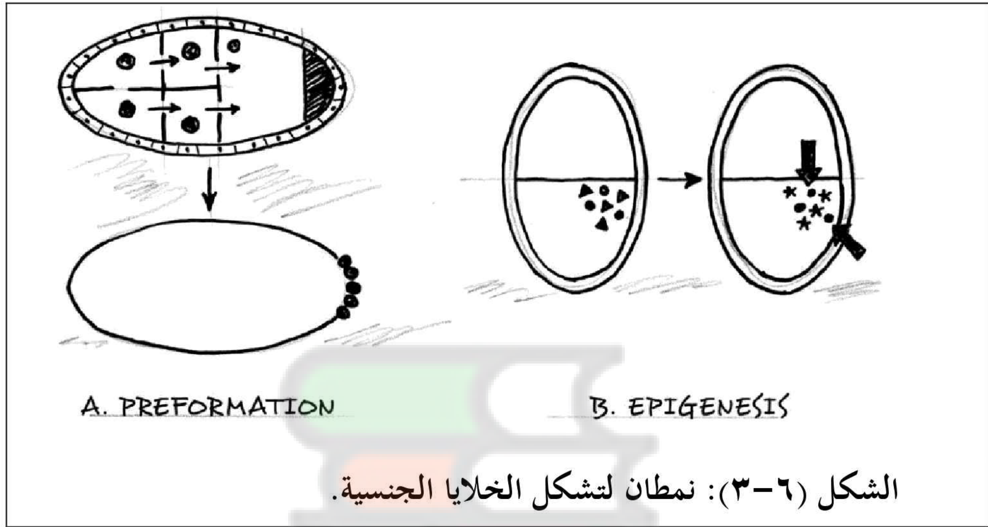
فعلى كل المجموعات المتشابهة من الحيوانات -بل كل الحيوانات طالما انحدرت من سلف مشترك- إظهار نفس النمط الأساسي لتشكل الخلايا الجنسية. وأكثر من ذلك، يجبُ على الشجرة التطوُّرية التي نَحصل عليها من تحليل (نمط

تشكل الخلايا الجنسية) أن تكون مُنسَجمة مع الأشجار التي نحصل عليها من تحليل صفات أساسية أخرى، كـ(تناظر مخطط الجسم) و(نمط النمو الجنيني) و(عدد النسج الأوليَّة).. وهكذا.

لكن نمط تشكل الخلايا الجنسية موزَّع تقريبًا بشكلٍ عشوائي في المجموعات الحيوانية المختلفة، بما يَجعلُ من المستحيل تشكيل شجرة تطورية متماسكة بناء على هذه الخاصية فضلًا عن عمل أي مقارنة بين هذه الشجرة والشجرة المقبولة. لاحظ أيضًا توزع النمطين الأساسيين لنشوء الخلايا الجنسية ضمن الشعب الحيوانية التي تصفها الشجرة المقبولة. يُظهر (الشكل ٦-٤) والمشتق من عمل البيولوجيّة النمائية (Cassandra Extavour) من جامعة هارفارد[٥٢] هذا التوزع، ويُعطي طريقةً أخرى لفَهم عدم التناسق الذي يَظهرُ عند تحليل الصفات التشريحية المختلفة.



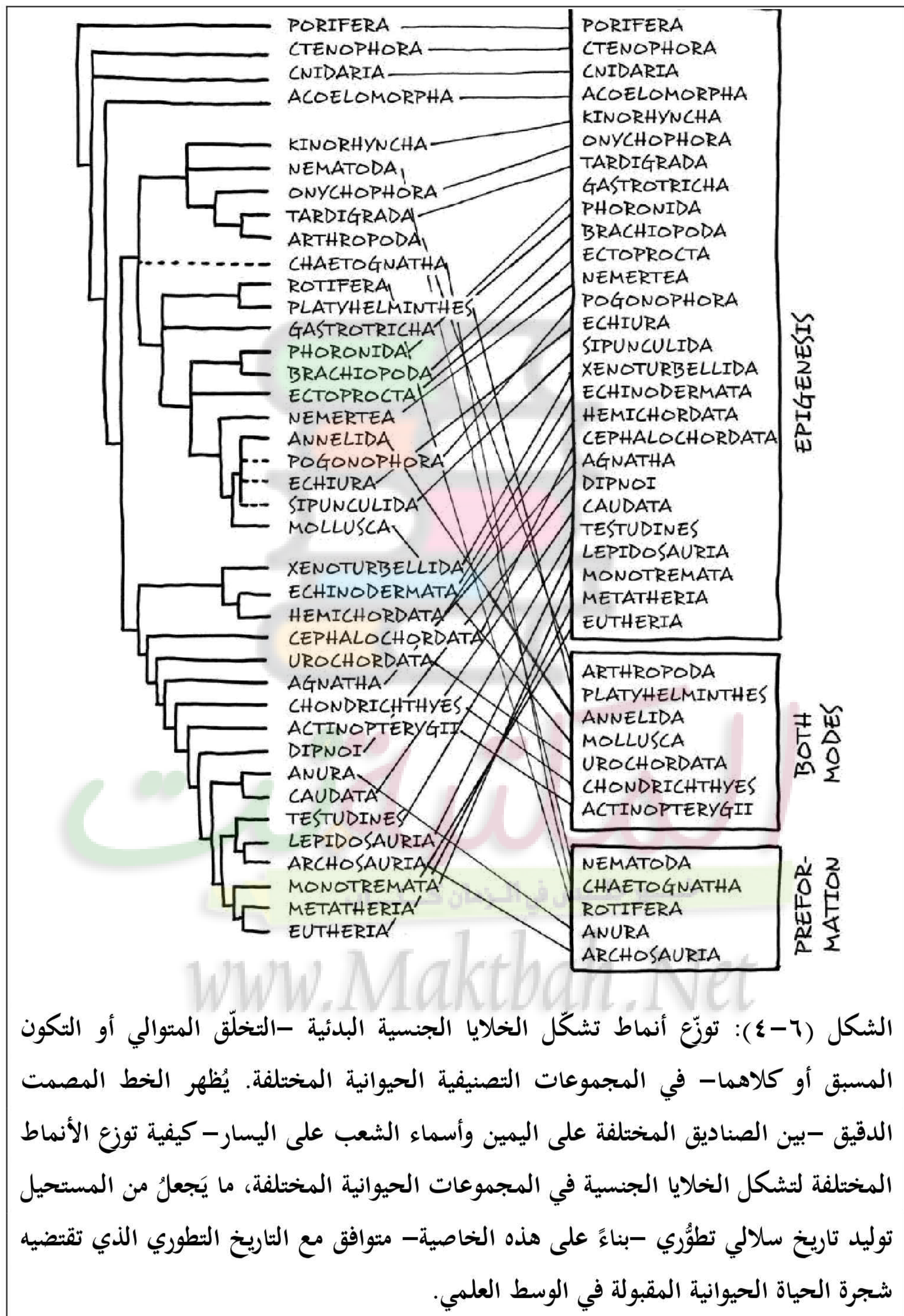
الشكل (٦-٢): الشجرة المقبولة للتوالي Metazoa. كما حدَّدها تحليل الصفات التشريحية المختارة والمورثات.



الشكل (٦-٣): نمطان لتشكل الخلايا الجنسية.

الشكل (٦-٣)a: (على اليسار) في ذبابة الفاكهة عند تشكّل البيضة تَمنح الأم الخلايا -الخلايا الأربع على يسار حجرة البيضة البيضوية وأشرنا لها بدوائر سوداء كبيرة- البروتينات والRNA، وتُنقل إلى القطب الأمامي من البيضة -والمشار له بالرقعة السوداء على يمين الخلية الكبيرة على اليمين-. تُطلِق هذه الجزيئات التي تَصنعها الأم عندها النمو في الخلايا الجنسية والأعضاء التناسلية في الذبابة خلال فترة التخلق المضغي embryogenesis. الشكل (٦-٣)b: (على اليمين) في بيوض الفئران لا يكون هناك مركبات محفوظة عند الأم تحدِّد تشكّل الخلايا الجنسية، بل في الوقت الذي يَحدثُ فيه النمو الجنيني يَقوم جزء من جمهرة الخلايا -ممثلة بالمثلثات على اليسار- بالتعبير عن الجينات المؤهلة للخلايا الجنسية germline competence genes، تَقرأ هذه الخلايا عندها الإشارات التي تَصلُ من نسج أخرى -انظر الأسهم-، ممَّا يؤدِّي إلى تمايز الخلايا إلى خلايا جنسية بدئية -مشار إليها بالنجوم على اليمين-.

لاحظ أنَّ نمطي تشكل الخلايا الجنسية البدئية لا يَتجمَّعان معًا في أجزاء متباينة من الشجرة التطوُّرية المقبولة، إنَّما تتوزع عشوائيًّا بين الشعب المختلفة، في فروع مختلفة من الشجرة التطوُّرية، فمثلًا، في مَسَمِّيّات الفَم protostomes يتراوح نمط تَشكّل الخلايا الجنسية بين التكون المسبق preformation والتخلُّق المتوالي epigenesis، والحال نفسه أيضًا في ثنائيات الفم deuterostomes حيث يتنوَّع تشكّل الخلايا الجنسية بعشوائية تقريبًا، وتحوي العديد من المجموعات التصنيفية النمطين معًا، بما يَجعلُ من الصعب أو المستحيل تحديد أي الصفات كانت حاضرة في نقاط التفرع –السلف– المختلفة. بملاحظة هذا النمط من التوزع استنتجت كاساندرا إكستافور أنَّ: "البيانات المتوافرة حاليًا لا تَستطيعُ اقتراح وجود تناظر homology للمكونات الجسدية somatic من الغدد التناسلية في التوالي metazoa".[٥٣]



الشكل (٦-٤): توزّع أنماط تشكّل الخلايا الجنسية البدئية -التخلّق المتوالي أو التكون المسبق أو كلاهما- في المجموعات التصنيفية الحيوانية المختلفة. يُظهر الخط المصمت الدقيق -بين الصناديق المختلفة على اليمين وأسماء الشعب على اليسار- كيفية توزع الأنماط المختلفة لتشكل الخلايا الجنسية في المجموعات الحيوانية المختلفة، ما يَجعلُ من المستحيل توليد تاريخ سلالي تطوُّري -بناءً على هذه الخاصية- متوافق مع التاريخ التطوري الذي تقتضيه شجرة الحياة الحيوانية المقبولة في الوسط العلمي.

A
DEUTEROSTOMIA
PROTOSTOMIA
SPIRALIAN COELOMATES
RADIAL COELOMATES
LOPHOPHORATES
TROCHOPHORE
DIPLEURULA
ACOELOMATES
CHAETOGNATHS
ACOEL FLATWORMS
PSEUDOCOELOMATES
RADIATA
PLANULA

B
DEUTEROSTOMIA
PROTOSTOMIA
CHORDATES
HEMICHORDATES
ARTHROPODS
ANNELIDS
MOLLUSKS
LOPHOPHORATES
ECHINODERMS
FLATWORMS
PSEUDOCOELOMATES
CNIDARIANS
SPONGES
ARCHEMETAZOAN

A
ARTICULATES
MOLLUSCA
ACOELOMATES
NOTONEURALIA (CHORDATA)
LOPHOPHORATA
SPIRALIAN COELOMATES
DEUTEROSTOMIA
ARCHECOELOMATA
BENTHO-GASTRAEA
BLASTAEA

B
ARTICULATES
MOLLUSKS
NOTONEURALIA
COELOMATE GASTRONEURALIA
DEUTEROSTOMES
LOPHOPHORATES
ACOELOMATE GASTRONEURALIA
(SPIRALIA)
ARCHECOELOMATA
ARCHEBILATERIA
DIPLOBLASTICA

POLYMERA
DEUTEROSTOMIA
TENTACULATA
AMERA
MOLLUSCA
PROTO-COELOMATA
ACOELOMATA
DIPLOBLASTICA

A
DEUTEROSTOMES
LOPHOPHORATES
SIPUNCULANS
ARTHROPODS
ANNELIDS
PSEUDO-COELOMATES
MOLLUSKS
ACOELOMATES
CNIDARIANS
PLANULA
SPONGES
PROTOZOA

B
NOTONEURALIA (CHORDATES)
HETERONEURALIA (TRIMERIC GROUPS)
COELOMATE GASTRONEURALIA
ACOELOMATE GASTRONEURALIA
TRIPLOBLASTICA
DIPLOBLASTICA

C
DEUTEROSTOMES
LOPHOPHORATES
PROTOSTOMES
ACOELOMATES
ACOELA
CNIDARIA
PROTOZOA

TENTACULATA
OTHER DEUTEROSTOMIA ("COELOMOPORA")
OTHER SPIRALIA
CHORDATA
POLYMERA
ACOELOMATA
DIPLOBLASTICA

DEUTEROSTOMES
LOPHOPHORATES
PROTOSTOME COELOMATES
NEMERTEANS
PSEUDOCOELOMATES
PLATYHELMINTHES
COELENTERATES
SPONGES
DEUTEROSTOMY
RADIAL CLEAVAGE, TRIMERISM
METAMERISM
COELOM
BLOOD SYSTEM
ANUS
SPIRAL CLEAVAGE, MESODERM, BILATERALITY
MOUTH, NERVES, DIPLOBLASTY
MULTICELLULARITY

PROTOZOA
PORIFERA
COELENTERATA
PLATYHELMINTHES
ASCHELMINTHES
MOLLUSCA
ANNELIDA
ARTHROPODA
ECHINODERMATA
CHORDATA
P R O T I S T A

الشكل (٦–٥): انتقاء الأشجار التطوُّرية غير المتوافقة –عدم توافق بين كل اثنتين منها– والتي تُمثِّلُ تاريخ المجموعات الحيوانية الرئيسية المستنبطة من منشورات علمي الحيوان والتطور منذ عام ١٩٤٠ حتى تاريخ كتابة هذا النص.

لاحظ أن تعريف بعض المجموعات التصنيفية في بعض هذه الأشجار السلالية التطورية قد تغيَّر بشكلٍ مهم مُنذ أُنشِئت أول مرة. قد لا يرسم طول التفرع بما يتناسب مع المقياس الزمني.

بعد إنهاء إحصاء هذه الصعوبات المتعددة استخلص عالما الحيوان والخبيران في تشريح اللافقاريات (بات ويلمر Pat Willmer) من جامعة سانت أندروز St. Andrews و(بيتر هولاند Peter Holland) من جامعة أوكسفورد هذه النتيجة: "بالنظر لكل هذه التفاصيل، فإنَّ إعادة التقييم المعاصرة للدليل التقليدي تدعم مجموعات مختلفة ومتناقضة من العلاقات التطورية".[٥٤] وتابعا ليصلا إلى ملاحظة أنَّ "أنماط التناظر symmetry، وعدد الطبقات الجنسية في الجسم، وطبيعة تجويف الجسم، ووجود أو نمط التكرار التسلسلي –وجود القطع الجسدية segmentation–، كلها مستخدمة في استنتاج السلفية المشتركة". ثم يُكملان الشرح بأنَّ قصة التطوُّر السلالي التي تُخبرنا بها هذه التفاصيل هي "إمَّا مرفوضة الآن، أو جدلية على الأقل"؛ لأنَّ البيانات "في أحسن أحوالها غير منسجمة".[٥٥]

يؤكد الارتياب المستمر المسجل تاريخيًّا حول شجرة الحياة الحيوانية منذ عام ١٨٥٩ –كما يَشرحُ ذلك كتاب منهجي مرموق حول الحيوانات اللافقارية– على أنَّ "تحليل التاريخ التطوري في مستوى الشعب مُعْضِل للغاية".[٥٦] والنتيجة أنَّ "دراسة المستوى الأعلى من تاريخ الحيوانات التطوُّري قد أنتَجَ أدبيات كثيرة، لكنَّها غير متفقة إلا في تفاصيل ضئيلة. في الواقع، ليس هناك وجود للتاريخ التطوُّري السلالي الموجود في الكتب المنهجية، لكن يُمكنُ أن نَجدَ تنوعًا من المخططات المختلفة".[٥٧] ولتعلم مدى أهمية هذه المعضلة انظر إلى الشكلين (٦–a١) و(٦–b١) وأيضًا الشكل (٦–٥)، تُظهر هذه الأشكال بعضًا من التاريخ التطوري للتوالي والمنشور في القرن العشرين بناءً على التشريح. من الواضح عدم اتفاق هذه الأنماط المتفرعة مع بعضها البعض.

الافتراضات الواقعة في استدلالات التاريخ التطوري السلالي

تؤكِّدُ كل هذه المشاكل وجود صعوبات جذرية متعددة في طُرق إعادة بناء التاريخ التطوُّري. عندما يُحلل علماءُ الأحياء الصفات التشريحية أو المورثات المتعددة فإنَّ الشعب الحيوانية لا تُطيع محاولات ترتيبها في نمط شجري واحد على الدوام. لكن إن كانت هناك فترة مخفية من التطوُّر في العصر ما قبل الكامبري، وإن كان تحليل التسلسلات المقارن يُظهر التاريخ الحقيقي للحياة الحيوانية، وضمنا وجود أشكال حيوانية ما قبل كامبرية، فيجبُ أن تتقارب دراسات التطور السلالي أكثر فأكثر نحو شجرة حياة حيوانية واحدة. طالما أن نقطة تشعب واحدة ممكنة فقط لتمثل حدث بدء تطور الأشكال الحيوانية من سلف حيواني مشترك، فإنَّ شجرة واحدة فقط من بين هذه الأشجار الكثيرة التي يُنتجها التحليل السلالي التطوُّري ستكون قادرة على تَمثيل التاريخ الحقيقي ما قبل الكامبري للحياة الحيوانية. أمَّا إن توافق التحليل التطوري السلالي على إنتاج عدة تواريخ تطورية مُمكنة، فسيصعب معرفة أي واحدة منها تلك التي تُرسلُ إشارات تاريخية معتمدة. ومرة أخرى أكرِّر، لقد حَدثَ التاريخُ –تاريخ الحياة الحيوانية– مرة واحدة فقط.

يُمكنُ لأحدُنا أن يُجادلَ بأنَّ هذه الأشجار المتعارضة تُظهرُ لنا –على الأقل–أنَّ بعض الأنماط التطورية لسلف المشترك والشبيهة بالشجرة قد سبقت العصر الكامبري، لأنَّ كل الأشجار المتناقضة تؤكِّد ذلك. لكن مرة أخرى، كل الأشجار تظهر هذا لأنها تفترض هذا سلفًا وليس لأنها تُثبته.

التطوُّر المتقارب

بَقي هناك سببٌ آخر يَدفعنا للتساؤل فيما إذا كانت دراسات التناظرات homology التشريحية أو الجزيئية تَدلُّ على أي شيء يَقيني حول تاريخ الحياة.

تَشتركُ العديدُ من الحيوانات بسمات أو خصائص مفردة مع حيوانات أخرى بعيدة عنها بلا شكٍّ، وفي مثل هذه الحالات فلن يَكون هناك مَعنى تطوُّري لتصنيفها بأنَّها قريبة تطوريًا من أسلافها المشتركة. على سبيل المثال، يَتَشابه الخلد mole والحراشة mole cricket بشكلٍ ملحوظ في الأطراف الأمامية، رغم أنَّ الخلد من الثدييات والحراشة من الحشرات، ولا يَعتبرُ أي عالم أحياء تطورية هذين الحيوانين قريبين تطوريًا لأسباب مفهومة.

تَفترضُ نظرية السلف العام المشترك عمومًا أنَّه كلَّما زادَ التَشابه بين كائنين ازداد قُربهما التطوُّري، وبافتراض السلف المشترك، فإنَّ الحيوانات المتباينة جدًا في مخططها الجسدي يَجبُ ألا تكون متقاربة تطوريًا. إنَّ وجود صفات أو بُنى متطابقة تقريبًا لدى الكائنات الحيَّة التي تُظهرُ مخططًا جسديًا عامًا مختلفًا لا يُمكنُ أن يعزى إلى التطوُّر من السلف المشترك. بل يَعزو عالم الأحياء التطوُّرية هذه الصفات المتشابهة في هذا السياق إلى ما يُعرف بالتطوُّر المتقارب convergent evolution؛ وهو نشوء مستقل أو معزول للصفات المتشابهة في خطوط تطورية منفصلة، بدءًا من نقاط –على الخط التطوري– تلي نقطة تشعبهما من آخر سلف مشترك. يُثبتُ التطوُّر المتقارب أنَّ التشابه لا يَقتضي دومًا التناظر homology أو وراثة الصفة من سلف مشترك.

لهذا السبب، فإنَّ الحاجة المتكررة لاستدعاء التطور المتقارب والآليات الأخرى المشابهة له[58] يلقي بشكوك أخرى حول طريقة إعادة بناء التاريخ السلالي التطوري. يلغي استدعاء التطور المتقارب المنطق الكامن خلف الاحتجاج بالتناظر homology، حيث يُمكنُ استخدام التشابهات للوصول إلى السلفية المشتركة إلا في تلك الحالات العديدة –والعديدة جدًا– التي لا يَدلُّ فيها التناظر على السلفية

المشتركة. مرة أخرى، إن استدعاء فكرة التطور المتقارب تُبطلُ الادِّعاء المبرّر لعمل إعادة بناء التاريخ السلالي التطوري في المقام الأول، وهو -الادِّعاء- أنَّ التشابه إشارة تاريخية موثوقة تدلُّ على السلفية المشتركة.

لمُّ شمل العائلة

ما الذي نستنتجه إذًا من الأشجار التطوُّرية المتعددة المتضاربة؟ واضح أنَّ هذه النتائج المتعارضة تَطرحُ سؤالًا حول وجود شجرة معتمدة للحياة الحيوانية. لتعرف السبب، تخيَّل أنَّك دُعيت لحدث يُعرف بلم شمل العائلة الموسعة، حيث أخبروك بأنَّك ستلتقي بمئات من أقاربك لم تَلتَقِ بمعظمهم من قبل. تعالوا نسمِّ هذه الدعوة بفرضية (لم الشمل). تقول الدعوة أنَّ على برنامج الحفلة أخذ صورة جماعية، سيجتمع لأجلها الأقارب معًا وفقَ درجة قرابتهم -أولاد العمومة أولًا ثم الأبعد فالأبعد-.

وصلتَ، وبدأتَ بتناول بعض السلطات، متشوقًا للحظة لقائك بأقرباء لك كُنت تَجهلهم. تَرى المئات، ولديك كل سبب يَجعلك تُؤمن بأنَّ فرضية (لم الشمل) حقيقية، كما أنَّ الدعوة التي جاءت إلى صندوقك البريدي معنونة بـ(لم شمل العائلة).

مع مرور ساعات اليوم تكتشف وجود شيء خطأ، إذ تَرَى في كل مكان حولك وجوها مألوفة -أجل، ربَّما يكون ذلك ابن عمي-، لكن معظم الحضور وكل الغرباء الذين دَخَلَت في حوار معهم لا يُظهرون تشابهًا عائليًّا مميِّزًا، ولا يبدو أن أحدًا من الموجودين ذو علاقة شخصية مع الآخرين في الحفل، بغض النظر عن مدى طول الحوار ومحاولة الإمساك بالنقاط المشتركة. أيضًا، كل شخص يُخبرنا

رواية مختلفة لتاريخ عائلته. تُحاول تصنيف الغرباء وفق صفاتهم الحسية -الطول ولون الشعر ونمط الجلد وهكذا-، لكن الصفات التي وجدتها لا تخلص إلى دليل حول روابط الأسرة أو العلاقات السلالية بين الحضور. أيًّا تَكُن النقاط المشتركة، إلا أنَّها تأبى التجمع في قصة متماسكة متآلفة. أشجار النسب غير واضحة، وفرضية لم الشمل تَتَعرَّضُ لضغوط كبيرة.

بوصول المصوِّرة، حاولت ببسالة أن تَجمَعَ الجميع بصورةٍ واحدة كما هو مخطَّطٌ له، فحلت الفوضى، لا يَعرفُ أحد أين سيقف لأنَّ العلاقات العائلية غير واضحة البتة، لو كانت موجودة أصلًا. وبعد التجمهر نصف ساعة أو قريبًا من ذلك دون جدوى، انطَلق الناس إلى سياراتهم متسائلين عن سبب تكلفهم عناء حضور هذه النزهة، بل لِمَ طُلب منهم المجيء أصلًا.

هل لديك الآن سبب جيد للشكِّ في فرضية لم الشمل؟ بالطبع، فلو كانت فرضية لم شمل العائلة صحيحة لكان بالإمكان إثباتها؛ لأنَّ الدليل كان سيتقارب نحو نمط واحد متماسك. ولو كان هناك نمط صحيح للروابط العائلية، لكان من الواضح للناس وجود نمط متناسق واحد لهذه العلاقات كلَّما أطالوا الحديث مع بَعضهم. لكن الناس في النزهة لم يكونوا أقرباءك، أو -على الأقل- ليس بإمكانك إثبات ذلك بأي طريقة. وبدلًا من تقارب الأدلَّة نحو نمط واحد تتجه الأدلة عشوائيًّا إلى كل مكان.

غابة من الأشجار

بالطبع ينهار مثالي التصويري عن لم شمل العائلة إن قسناه على تاريخ الحياة الحيوانية، لأنَّنا إن تَتَبعنا التاريخ السلالي لكل فرد في النزهة فسنصل إلى النقاط

التي تَربط جميع الحاضرين بسلفٍ مشترك واحد. لكن لا يُمكننا افتراض صحة الشيء المماثل بما يَخص الحيوانات الكامبرية؛ لأنَّه لا الدليل الأحفوري يُثبتُ ذلك، ولا الدليل من علم الوراثة والتشريح المقارن. فإمَّا أنّ هذه الصنوف الثلاثة من الدليل لا تُقدِّمُ دليلًا مقنعًا على وجود أسلاف للحيوانات في العصر ما قبل الكامبري –في حالة الأحافير–، أو أنَّها تولّد مصادرة على المطلوب ودليلًا متناقضًا –في حالة المورثات والتشريح–.

وهذه هي النقطة التي أرجوها من قصتي؛ فنظرًا لإمكانية وجود تاريخ حقيقي واحد فقط لحيوانات العصر الكامبري، يجبُ أن تتقارب الأدلَّة في شجرة عائلية مشتركة –لو كنَّا ننظر حقًا للدليل على التاريخ الحقيقي–. يَجبُ أن تكون الصورة التي تنتج عن الدليل ثابتة غير متغيرة على الدوام، لكن الدليل الذي يأتي من مناحٍ متعددة يولّد بدلًا من ذلك صورًا متضاربة غير متناسقة لتاريخ الحياة الحيوانية. وكما هو الحال في أبناء العمومة المشتبه بهم في قصتي، يبدو أنَّه ليس هناك أي طريق متناسق لتنظيم مجموعات الحيوانات في شجرة عائلة واحدة.

لكن إن لم تُخبرنا المورثات قصة الأشكال السلفية ما قبل الكامبرية –أي لم تعوض ضآلة الدليل الأحفوري، ولم تُثبت بشكلٍ لا لبس فيه تاريخًا طويلًا غامضًا لحياة الحيوانات، بدءًا من الحيوان الأصلي أحد التوالي البدئية– سنعود عندها بشكلٍ منطقي لنُعطي الأهمية للسجل الأحفوري. وفي تلك الحالة سيستمر لغز الأحفورة السلفية المفقودة، عندها، هل هناك أي سبيل لشرح الظهور المفاجئ لأشكال الحياة الجديدة في السجل الأحفوري بالأساليب التطورية؟ أثناء سبعينيات القرن العشرين، ظَنَّ شابان اثنان من علماء الأحافير وجود سبيل لفعل ذلك.

الفصل السابع

التوازن المتقطع

التوازن المتقطع

نادرًا ما تتمُّ الاكتشافات العلمية في محلات غسل الثياب، لكن الحقيقة أنه قد وَقعَ بالفعل اختراقٌ علمي كبير –واحد على الأقل– في إحداها. كان ذلك عام ١٩٦٨، قبل عقد من اكتشاف أحافير Chengjiang على يد العالم الملهَم نيلز إلدردج Niles Eldredge المختصُّ بعلوم الأحافير. وَقفَ نيلز يفتِّش جيبه في يوم من الأيام في محل غسل الثياب في ميتشيغن بعد أشهر من جمع أحافير ثلاثيات الفصوص استعدادًا لتقديم أطروحة الدكتوراه، فأخرج إحدى الأحافير التي كان يَجمَعها، وكانت عينة لأحد أنواع ثلاثيات الفصوص تُدعى Phacops rana، فأُصيبَ بالإحباط بدايةً إذ أنَّ الأحفورة تُشابه إلى حدٍ بعيد الكثير غيرها من الاحافير التي وجدها في الطبقات الرسوبية خلال عمله الميداني في الغرب الأوسط، حيث لم تُبدِ هذه الأحفورة التي بحوزته أي دليل على التغيُّرِ التدريجي الذي لقنته إياه الداروينية الجديدة.[١]

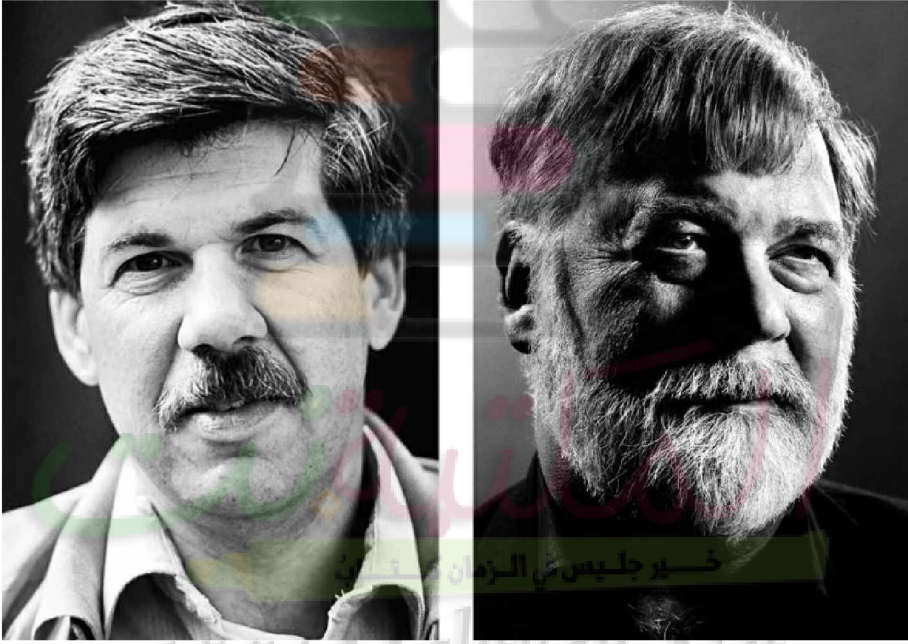
وذكرَ إلدردج في محاضرة له في جامعة بيتسبورغ في عام ١٩٨٣ شعوره حينها بلحظة إدراك علمية صاعقة، إذ أدرك أنَّ "غياب التغيرات" بحد ذاته كان "نمطًا مثيرًا جدًا للاهتمام"، أو كما وصفه في موضعٍ لاحق بالقول: "إنَّ الثبات شيء من البيانات"[٢]، وظهر مصطلح (الثبات Stasis) الذي اِستَخَدمه كل من إلدردج وزملائه المتعاونين معه، كستفن جي غولد (الشكل ٧–١)، واصطلح على أنَّه النمط الذي تُبديه معظم الأنواع "خلال فترات ظهورها التاريخية الجيولوجية من عدم التغيُّر بشكلٍ ملموس، أو التأرجح الشكلي الظاهري البسيط، الذي يَغيبُ عنه التوجه الواضح".[٣] وبينما كان إلدردج يَفحصُ ثلاثية الفصوص أدرك أنَّه يشاهد دليلًا على الثبات لفترة زمنية، رغم بُغْضه لذلك، ثم أخذَ يَشرحُ ذلك في قوله "كان الثبات...

وإلى حدٍ بعيد النمط الأكثر ظهورًا في أولى عينات Phacops التي درستها"، وأردف قائلًا: "تقليديًا، كان يُنظر لعجز علماء الأحافير عن العثور عما أخبرهم بضرورة وجوده علماء البيولوجيا التطورية -بدأً من داروين- على أنَّه نتيجة مزيفة لفقد أجزاء من السجل الأحفوري، فجاء مفهوم الثبات محرجًا للغاية، وهو الذي يَصفه ستفن جي غولد بكونه سر صنعة علماء الأحافير".[٤]

أثبتَ هذا الارتباك أهميته، وقاد إلدردج وغولد في النهاية لرفض الصورة التدريجية للتغيُّرِ التطوري الذي صرَّح به داروين، وما نَصَّت عليه الداروينية الجديدة من الآليَّات الممكنة لمثل هذا التغير المزعوم، كما قادهما أيضًا لكتابة سلسلة من الأوراق البحثية العلمية ما بين عامي ١٩٧٢ و١٩٨٠ إلى وضع نظرية جديدة في التطوُّر تُدعى بنظرية التوازن المتقطع.[٥] وفقًا لهذه النظرية، لا يَتَوقَّعُ غولد ولا إلدردج أن يجدا ذلك الغِنَى في الأشكال الانتقالية الوسيطة في السجل الأحفوري، بل - من وجهة نظرهما- انتهت العصور الأساسية للابتكار البيولوجي بسرعة، فلم تَسمح بترك الأشكال الانتقالية وراءها.[٦] وقد سَعَى كل من غولد وإلدردج إلى تفسير عصور التغيُّر السريع[٧] تلك -أي التقطع- من خلال تَقديم أنواع مختلفة من الآليات التطورية أو عمليات التغير، فاقترحا أولًا آلية تُدعَى (الانتواع التبايني allopatric speciation) لشرح التكون السريع للأنواع الجديدة.

اِفتَرَض غولد وإلدردج ومعهما ستفن ستانلي -وهو من أوائل المدافعين عن التوازن المتقطع، وعالم الأحافير من جامعة جونز هوبكنز- انتقاءً طبيعيًا يَعملُ على مستويات أعلى، بدلًا من الانتقاء الطبيعي الذي يُفاضلُ بين أفراد النوع الواحد ليَحفَظ الأكثر تكيفًا من بينهم -كما هو الحال في الداروينية الكلاسيكية والداروينية الجديدة-، بل اِقتَرَح علماءُ الأحافير الثلاثة هؤلاء أنَّ الانتخاب الطبيعي

عادة ما يَنتَقي الأنواع الأكثر تكيفًا من بين مجموعات الأنواع المتنافسة، كما افترض مناصرو التوازن المتقطع هؤلاء أنَّ التغيُّرَ المورفولوجي يَحصلُ نمطيًا وفق قفزات أكبر وأكثر انفصالًا مما تخيَّله داروين في البداية، لاعتقادهم بحصول الانتواع بشكلٍ أسرع، ولاعتقادهم بأنَّ الانتخاب الطبيعي يَعملُ على النوع بأكمله، وليس على الأفراد منه.



الشكل (٧-١): الشكل (٧-١)a: (من اليسار) ستفن جي غولد. بالإذن من Getty Images. الشكل (٧-١)b: (من اليمين) نيلز إلدردج. حقوق النسخ محفوظة ل جوليان دوفورت ٢٠١١©، استخدمت بعد أخذ الإذن.

لذا، تَسعَى نظريةُ التوازن المتقطع بأحد معانيها إلى شرح غياب الأشكال الانتقالية الوسيطة التي تَنبَّأت بها نظرية داروين، كما فعلت فرضية الأحافير

المخادعة، ويَسعى أنصار التوازن المتقطع لشرح غياب الأشكال الانتقالية من السجل الأحفوري بمعزل عن فرضية الأحافير المخادعة، من خلال التبرُّؤ من التدرُّج الداروويني، أو في أحسن الأحوال باستخدام ما تصوروا أنَّه رؤية أكثر اعتدالًا للأمر. لكنّ نبذ التوازن المتقطع للتدرج الدارويني يعتبر رؤية مخالفة جذريًا لأسلوب التطور، فهو نظرية جديدة يَدورُ جوهرها حول تحديد آليَّات جديدة للتغير التطوري. يقولُ مؤرخُ العلوم ديفيد سبكوسكي: "اقترح غولد وإلدردج تصورًا ثوريًّا تجاوز الرواية النموذجية التي تَطرَحُها الداروينية الجديدة، وجادَلا بأنَّ التاريخ التطوري مكون في الحقيقة من فترات وبدايات تُمثِّلُ العصور الطويلة من الثبات التطوُّري –أو التوازن– تقطعها عصور قصيرة من الانتواع السريع".[8]

خلال سبعينيات القرن العشرين وثمانينياته ولّدت نظريةُ التوازن المتقطع –أو بالاسم المستعار الشهير حينها punk eek– جدلًا علميًا حادًا، وحازت على تَغطيةٍ إعلامية واسعة.[9] سمَّى الناقدون هذا النموذج بـ(التطوُّر في نظر الحمقى)، مما دعا غولد إلى الردِّ بأنَّ أنصار التدرّجية يُقدِّمون (التطور الزاحف).[10] ورغم أنَّ إلدردج قد لَعِبَ في البداية دورًا بالغ الأهمية في صياغة النظرية، إلا أنَّ غولد قد بَرَزَ كمتحدثٍ رسمي باسمها، إذ أدّى إخلاصه للنظرية مع شعبية كتاباته العلمية إلى تحقيقه شهرة واسعة، وهي شهرة أمّنت بدورها موقعًا راسخًا للتوازن المتقطع في المعرفة العلمية. لكنْ ما الذي حلَّ بهذا الطرح العلمي الجريء؟ هل يَحلُّ التوازن المتقطع المعضلات التي لم تَستطع حلّها الداروينية الجديدة؟ وهل يُساعد في شرح الانفجار الكامبري والأحافير الانتقالية المفقودة الكامنة خلف غموضه؟

مطلوب محرك سريع

عندما قرَّر غولد وإلدردج تَناول السجل الأحفوري على وجهه الظاهر، أضحى السؤال واضحًا أمامهما: ما الذي يَستطيعُ أن يولد التغير التطوري بتلك السرعة؟

ولشرح الانفجارات القصيرة أو التقطع اِفتَرَض غولد وإلدردج آليَّة الانتواع السريع التي أضافها ستانلي -بالاتفاق معهما-، حيث قدَّمت فهمًا جديدًا لآليَّة الانتقاء الطبيعي.١١

فبينما تَعتمدُ الآلية الداروينية الجديدة على أثر الانتقاء الطبيعي في الطفرات العشوائية، وهو ما يَحدثُ بشكلٍ بطيء وتدريجي بالضرورة، أقحم غولد وإلدردج مفهوم (الانتواع التبايني allopatric speciation)[١] لشرح الطريقة التي ربَّما أدَّت إلى ظهور الأنواع بشكلٍ سريع. لذا، يُشيرُ الانتواع التبايني (غير الأبوي) إلى العملية التي تولد أنواعًا جديدة من جمهرات أبويَّة منفصلة، إذ يَنشأ الانتواع التبايني عندما يَنعزلُ جزء من الجمهرة الحيَّة جغرافيًا -ربَّما من خلال ظهور السلاسل الجبلية أو تحول مسار الأنهار- عن جزء الجمهرة الأبوي الأكبر، من ثم تّبدأ الجمهرة البنت بالتغيُّرِ استجابة للضغط البيئي المختلف.

استلهم غولد وإلدردج الفكرة من علم الوراثة السكانية لتوضيح سبب تزايد احتمالية انتشار الخصال الجينية الجديدة وتأصلها ضِمنَ الجمهرات الجزئية الأصغر، ويَصِفُ علم الوراثة السكانية العملية التي تَتغيَّرُ بموجبها الخصال الجينية، وكيف تَتَرسَّخُ في الجمهرات الحيَّة (وهو ما سأتطرق له في الفصل ١٢)، فهي تُعلمنا أنَّه من الصعب أن تَنتشرَ الخصلة الجينية الجديدة الناشئة في الجمهرات الكبيرة النموذجية من الكائنات الحيّة، ولكي يَحصل أي تغير تطوري في الجمهرة يجب على الخصال الجينية الجديدة أن تَنتشرَ أو تترسَّخ بعملية تُدعَى (التثبيت).

---

(١) السابقة "allo" تعني "غير" أو "مختلف"، وتدل اللاحقة "patric" على الآباء.

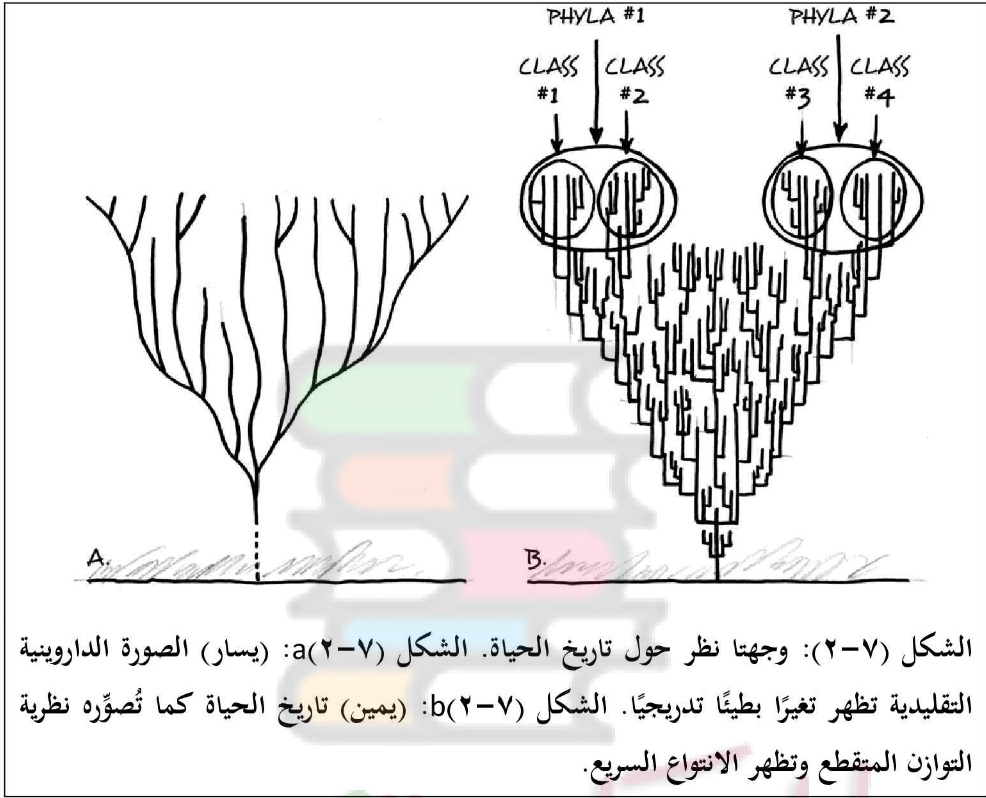
على أيَّة حال، يَكون تَثبيتُ الخصال الجديدة الناشئة في الجمهرات الأصغر أكبر بكثير، ذلك لأنَّ تلك الخصال لا تَحتاجُ للانتشار عبر عدد كبير من الأفراد، ويُمكننا عرض الأمر عبر الصورة التالية: خُذ كيسًا يَحوي خمسين كرة حمراء وخمسين كرة زرقاء، وافترض أنَّك تَسعى لتغيير (جمهرة) الكرات المختلطة من خلال إزالة الكرات بشكلٍ عشوائي، لتُصبح جميع أعضاء (الجمهرة) حمراء اللون. علينا لنَحصُل على (نوع) أحمر بالكامل أن نَخلُقَ جمهرة ليس فيها أي كرة زرقاء، فإنَّ اختار شخص ما خمسين كرة عشوائيًا من أصل مائة كرة في الكيس، فمن المستبعد للغاية أن تكون تلك الكرات المزالة من لون واحد فحسب، إذ أنَّ هناك احتمالًا أقل من ١ إلى ١٠ ^٣٠ لتكون كل الكرات المزالة زرقاء.[١٢]

وبالعكس، هناك احتمال كبير جدًا لتَبقى الكرات المتبقية مختلطة ذات لونين أحمر وأزرق، أما في المجموعات الأصغر –ثمانية كرات مثلًا: أربعة زرقاء وأربعة حمراء– فسيكون احتمال انتقاء أربع كرات زرقاء عشوائيًا وترك أربعة حمراء في الكيس بعيد الاحتمال، لكنَّه ليس صغيرًا إلى حد الاستحالة، إذ لا يَزالُ هنالك فرصة جيدة تبلغ ١ إلى ٧٠ للحصول على جمهرة ذات كرات حمراء فحسب[١٣]، فمن خلال البدء بكرات قليلة العدد يَزدادُ احتمال إنتاج الانتقاء العشوائي للَون واحد. وبشكلٍ مشابه فإنَّ احتمال تَثبيت الخصلة الجينية في جمهرة من المتعضيات يَنخفضُ بشكلٍ أسي مع حجم الجمهرة.

أدرك غولد أثناء صياغة نظرية التوازن المتقطع أنَّ الأنواع الجديدة سَتَظهرُ لا محالة في الجمهرات الصغيرة، حيث يُمكن للعمليات العشوائية أن تَملكَ فرصةً أكبر لتَثبيت الخصال، ومن بين تلك العمليات العشوائية تبرز آلية تُدعَى بـ(الجنوح

الجيني genetic drift)، وهي تَحصلُ عند انتشار أو اختفاء التغيرات الجينية عشوائيًّا عبر الجمهرة دون أي اعتبار لتأثيرها على النجاة والتكاثر.

ساعَدَ الانتواع التبايني من وجهة نظر غولد وإلدردج في شَرح كيفية حدوث التطوُّر وفق قفزات أكبر وأكثر انفصالًا من التي تتوقَّعها التدرجية الداروينية (الشكل 7-2)، ويُمكن أثناء حصول الانتواع المكاني أن يتولّد ما تخيَّله غولد وإلدردج على أنَّها أنواع بنت، إذ اعتقدا بحصول تلك العملية التي تَقود الأحداث الانتواعية بشكلٍ سريع إلى حد ما في الجمهرات الصغيرة مما يُساعدُ على شَرح القفزات المفاجئة في السجل الأحفوري، وقد وصفا الأمر بالصيغة التالية: "تعيق الأعداد الصغيرة والتطور السريع نظريًا من حفظ الأحداث الانتواعية في السجل الأحفوري"[١٤]، كما تَصوَّرا العملية التطورية أثناء عملها وفروع شجرة الحياة وهي تنَقَسِمُ بشكلٍ مُفَاجئ لتظهر فعليًا بشكل خطوط "أفقية" منتجة الانقطاعات المفاجئة في السجل الأحفوري وأشكالًا أحفورية انتقالية أقل. وقد شَرحَ كل من إلدردج وغولد هذا بالقول: "تَقتَرِحُ نظرية الانتواع التبايني (الجغرافي) تفسيرًا مختلفًا للبيانات الأحفورية، فإذا ما ظَهرَت الأنواع الجديدة بسرعة في الجمهرات الصغيرة المعزولة جانبًا، عندئذ يكون توقّع التدرّج الطفيف للأحافير بمرور الزمن مجرد وهم، فالأنواع الجديدة لا تتطوُّر في منطقة أسلافها ولا تظهر من التحول البطيء لجميع أجدادها"، لذا استنتجا أنَّ "العديدَ من الفجوات في السجل الأحفوري حقيقية".[١٥]



الشكل (٧–٢): وجهتا نظر حول تاريخ الحياة. الشكل (٧–٢)a: (يسار) الصورة الداروينية التقليدية تظهر تغيرًا بطيئًا تدريجيًا. الشكل (٧–٢)b: (يمين) تاريخ الحياة كما تُصوِّره نظرية التوازن المتقطع وتظهر الانتواع السريع.

اِعتَقَدَ كل من غولد وإلدردج وستانلي بأنَّ أفراد تلك الأنواع القريبة أو المتفرعة ستتنافس فيما بينها على الموارد والبقاء بعد نشوئها بالانتواع التبايني، كما في الداروينية الجديدة عندما تتنافس الكائنات الحيَّة أو الأقرباء على البقاء والتكاثر ضِمنَ الجمهرة، وكان من وجهة نظرهم أنَّه إذا ما تَفوَّقَ أحد أعضاء النوع على الآخر بسبب بعض الأفضلية الانتقائية التي يَملتكُها، فعندئذ سيَنجو النوع ويهيمن، مُمرِّرًا خصاله تلك إلى الأجيال اللاحقة. وقد دعا غولد تلك العملية التنافسية المعروفة بـ(الانتواع بين الأنواع المختلفة interspecies) أو (الانتواع بين الجمهرات المختلفة interpopulation) في مقابل الانتواع ضمن النوع الواحد intraspecies بـ(انتقاء الأنواع).[١٦]

شَرحَ غولد الأمر بنفسه فقال: "أفترضُ افتراضًا محوريّا، هو قيام الأنواع في التطوُّر الكبروي macroevolution بذات الدور الأساسي الذي يَقومُ به الأفراد في التطوُّر الصغروي microevolution، وتُمثِّلُ الأنواع الوحدات الأساسية في نظريات وآليّات التغير التطوُّري الكبروي".[١٧] عندها سَيَعملُ الانتخاب الطبيعي على الاختلافات الكبيرة في الأشكال البيولوجية ككل –اختلافات بين كامل الأنواع في مقابل الاختلافات بين أفراد النوع–، وستَحدثُ التغيرات التطورية وفق قفزات أكبر وأكثر انعزالًا.[١٨]

لذا فلم يَتوقَّع غولد وإلدردج من السجل الأحفوري تَوثيق العديد من الأشكال الوسيطة، بل اعتقدا بدلًا من ذلك بأنَّ "الفجوات" في السجل الأحفوري ماهي إلا "نتيجة منطقية ومتوقعة لنموذج الانتواع التبايني"، بالإضافة لآليَّات انتقاء الأنواع المشابهة.[١٩] بهذا يَكونُ انتقاء الأنواع قد جَعلَ النوعَ وحدةَ الانتخاب، وأكَّد نموذج الانتواع التبايني على أنَّ الأنواع الجديدة تظهر بسرعة من الجمهرات الصغيرة للكائنات الحيَّة. توحي لنا كلتا الآليتين بأنَّ قلَّة من أحافير الأشكال الانتقالية ستحفظ، وطبقًا للتوازن المتقطع فإنَّ الأشكال الانتقالية الوسيطة "المفقودة" لن تكون مفقودة في النهاية. وعليه فإنَّ الأنواع –بدلًا من أفراد الكائنات الحيَّة– تتنافس على البقاء أثناء انتخاب الأنواع، لتُصبح –وفق مصطلحات البيولوجيا التطورية– (وحدة الانتخاب) الأساسية في التطور الكبروي.

التوازن المتقطع والسجل الأحفوري

ابتكر إلدردج وغولد نظرية التوازن المتقطع ليتخلصا من التعارض بين السجل الأحفوري ونظرية التطور، لكن رغم ذلك فإنَّ التوازن المتقطع بحد ذاته له مشاكله

الخاصة مع السجل الأحفوري؛ فنمط ظهور الأحافير في الحقبة الكامبرية تحديدًا لا يَتَّسقُ مع أي من الطرق التي يَصِفُ فيها التوازن المتقطع تاريخ الحياة، سواء فكرة الانتواع التبايني أو انتخاب الأنواع المسؤولتين عن ذلك النمط، وهناك العديد من الأسباب لذلك:

أولًا، يُناقض نمط ظهور الأشكال الحيوانية الكامبرية التنازلي –من أعلى التصنيف الهرمي إلى أسفله– (الذي وجدناه في الفصل الثاني) الصورة التي يَعرضها التوازن المتقطع عن تاريخ الحياة، بذات القدر الذي تَفعله الصورة الداروينية تقريبًا.(الشكل ٢-١١) ونَتَذكَّر هنا اِعتِقَادَ داروين بظهور الممثلين الأوائل عن التصانيف العليا بعد الظهور الأول لممثلي كل من المستويات التصنيفية الأدنى، وأنَّ على الفروقات الصغيرة المميزة لأحد الأنواع عن غيره أن تتراكم تدريجيًّا حتى تُنتِجَ كائنات حيَّة مختلفة بما فيه الكفاية لتصنف ابتداء في جنسين مختلفين، من ثم من فصيلتين مختلفتين، وفي النهاية على أنَّها من رتب مختلفة، ثم أصناف مختلفة.. وهكذا.

لكن الأشكال الحيوانية الكامبرية الأولى مختلفة بما فيه الكفاية عن بعضها البعض، ما يُزيل مسوِّغ تصنيفها على أنَّها أصنافٌ أو تحت شعب أو حتى شعب منفصلة منذ بدء ظهورها في السجل الأحفوري (الشكل ٧-٣).

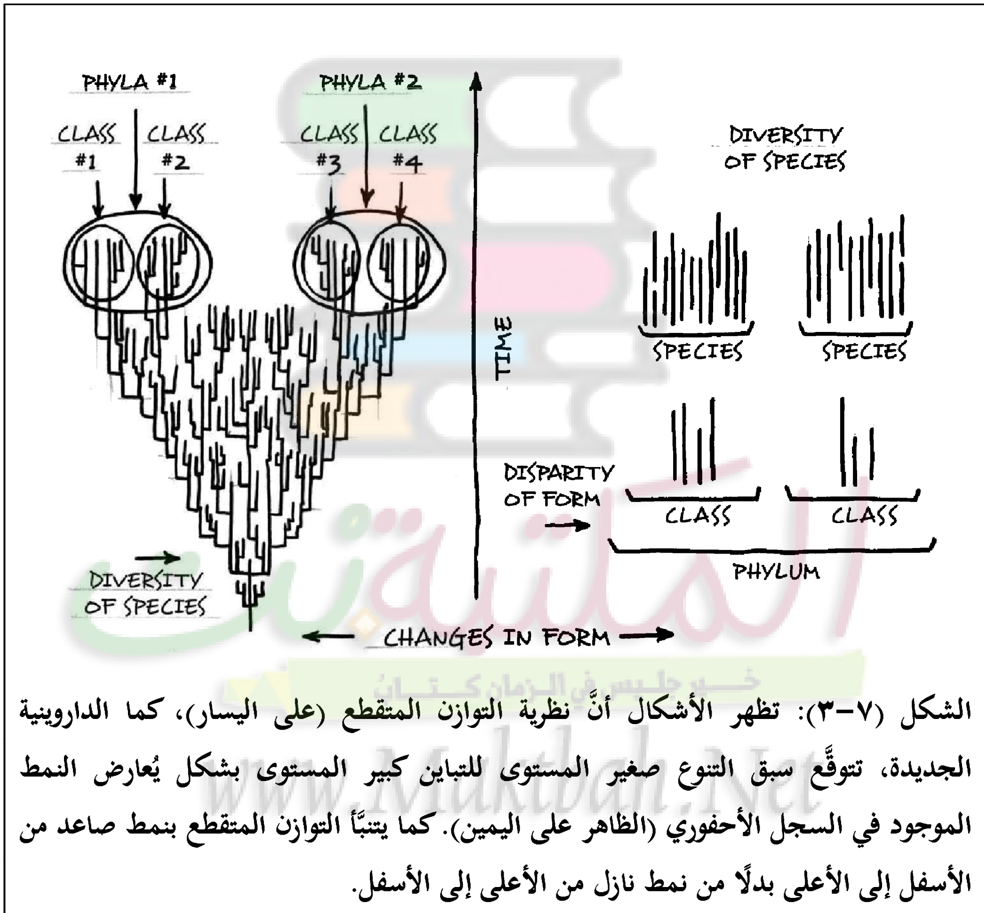
يَخلق هذا النمط صعوبةً كبيرة أمام نظرية التوازن المتقطع؛ فأولًا، يَتصوَّرُ أنصار التوازن المتقطع بداية ظهور تغير شكلي ظاهري (ممثل بالمسافة الأفقية في الشكل 2-7) بخطوات أكبر وأكثر انقطاعًا، بسبب فعل الانتواع التبايني وانتخاب الأنواع، لكنَّهم يَرون –كما تَرى الداروينية الجديدة– أنَّ الاختلافات على مستوى

الشُعب تَنشأُ من "الأسفل إلى الأعلى" بدءًا بالاختلافات على المستوى التصنيفي الأدنى، حتى لو حَدَثَت عبر زيادات شاملة لنوع جديد بأكمله بدلًا من الأفراد أو التنوعات varieties ضمن النوع. والواقع أنَّ الانتواع التبايني وفقًا لنظرية التوازن المتقطع يُنتج في البدء نوعًا جديدًا في جمهرات صغيرة معزولة جغرافيّا، ومن ثم فلكي يظهر ممثلو التصنيفات العليا يجب على تلك الأنواع الجديدة أن تُراكم خصالًا جديدة وأن تتطوَّرَ أكثر من ذلك، لهذا السبب يَتوقَّع التوازن المتقطع أيضًا تنوعًا على مستوى صغير، وتمايزًا في الأنواع الجديدة، يَسبقُ ظهور التباين الشكلي الظاهري ذي المستوى الكبير، إضافة إلى أنَّه يَتَوقَّع وجود نمط صاعد من الأسفل إلى الأعلى بدلًا من النمط النازل من الأعلى إلى الأسفل (الشكل ٧-٣).

ثانيًا، لكي يُنتج انتخاب الأنواع العديد من الأنواع الجديدة كتلك التي ظهرت في الانفجار الكامبري يَجبُ أن يوجد تجمُّع كبير من الأنواع المختلفة أولًا، لكن السجل الأحفوري الكامبري لا يوثّق وجود مثل هذا التجمّع الكبير المتنوع من الأنواع ماقبل الكامبرية المتنافسة، والتي قد يَعملُ عليها انتخاب الأنواع عبر (الانتواع التبايني).

أخرَجَ عالما الأحافير دوغلاس إروين وجيمس فالنتاين هذه المعضلة إلى العلن عام ١٩٨٧ في ورقة بحثية خلّاقة عُنونت بـ(تفسير تجارب النماء المهمة: السجل الأحفوري)[٢٠]، وشكّكا في قدرة نظريات التطوُّر الحديثة الأساسية في ذلك الوقت -التوازن المتقطع والداروينية الجديدة- على شَرحِ نمط ظهور الأحافير في سجل أحافير الحقبة الكامبرية وما قبل الكامبرية.[٢١]

من الواضح أنَّ الداروينية الجديدة لا تَشرحُ هذا النمط، لكن كما يُجادلُ فالنتاين وإروين، فحتى التوازن المتقطع لا يَفعلُ ذلك، واستنتجا أنَّ آليَّة انتخاب الأنواع تتطلَّبُ تجمعًا كبيرًا من الأنواع لتعمل عليه، واستنتجا بالتالي "أنَّ احتمال كون انتخاب الأنواع حلًّا شاملًا لنشوء التصنيفات العليا ليس بكبير".[٢٢]



الشكل (٧-٣): تظهر الأشكال أنَّ نظرية التوازن المتقطع (على اليسار)، كما الداروينية الجديدة، تتوقَّع سبق التنوع صغير المستوى للتباين كبير المستوى بشكل يُعارض النمط الموجود في السجل الأحفوري (الظاهر على اليمين). كما يتنبَّأ التوازن المتقطع بنمط صاعد من الأسفل إلى الأعلى بدلًا من نمط نازل من الأعلى إلى الأسفل.

يبدي السجل الأحفوري للعصور المتأخرة ما قبل الكامبرية والعصر الكامبري صعوبةً أُخرى أمام التوازن المتقطع، إذ بالرغم من تصوُّرِ غولد وإلدردج للخصال الجديدة وهي تُثبتُ في الجمهرات الصغيرة المعزولة –حيث يحدث الانتواع في

النهاية–، إلا أنهما تصورا أيضًا أنَّ هذه الخصال تظهر في البدء خلال حقب الاستتباب في الجمهرات الكبيرة التي ستنفصل عنها المجموعات الصغيرة لاحقًا، وأدرَكَ غولد أنَّ الجمهرات الكبيرة المستقرَّة فقط هي التي تُقدِّمُ الفرصة الكافية لتتولّد فيها طفرات الخصال الجديدة التي يَتطلَّبها التطور الكبير[٢٣]، في نفس الوقت أدرك أنَّ هذه الخصال الجديدة ستملك فرصة أكبر للتثبت في الجمهرات الصغيرة المعزولة، حيث يَزيدُ الفقد العشوائي لبعض الخصال من احتمال تثبيت البعض الآخر –تذكر مثال الكرات–.

أراد غولد الاعتمادَ على الجمهرات الكبيرة لتوليد الخصال الجديدة، وعلى الجمهرات الصغيرة لتثبيتها في الجمهرة بأكملها، ليقدِّم آليّة مقنعة –ودقيقة الضبط إن أمكن– تَشرحُ كلًّا من تغيرات التطوُّر الكبروي وغياب الأحافير الوسيطة.[٢٤] وقد وَصفَ عالمُ الأحافير توماس شوبف Thomas J. M. Schopf من جامعة شيكاغو هذا التوازن بقوله: "يَتقدَّمُ التطوُّر وفق التوازن المتقطع في الجمهرات التي هي كبيرة بما يَكفي لتملك تنوعات كافية بشكلٍ معقول، والتي هي في نفس الوقت صغيرة بما يَكفي لتَسمح بحدوث تغيرات كبيرة في تواتر الجينات نتيجة الانجراف العشوائي".[٢٥]

لكن وبالاعتماد على تراكم الخصال الجديدة ضمن الجمهرات الأم الأكبر يَكون غولد قد أَضعف من منطقه الذي يؤدِّي لاستنتاج عدم حاجة السجل الأحفوري للاحتفاظ بالعديد من الأشكال الوسيطة، والسبب في هذا واضح، وهو أنَّه إن كانت الخصال الجينية الفريدة تَظهرُ وتَنتشرُ ضِمنَ الجمهرات الكبيرة من الأحياء، فهي معرضةٌ بشكلٍ أكبر لأن تترك خلفها دليلًا أحفوريًا على وجودها، إذ لا تمثل المتعضيات ذات الخصال الجديدة والتركيب الفريد أو الفسيفسائي أي شيء

سوى كونها أشكالًا حيَّة جديدة، لذا فإنَّ العملية التي تَصوَّرَ غولد ظهور الصفات الجينية الجديدة من خلالها في الجمهرات الكبيرة تُوحي ضمنيًا بضرورة حفظ الأشكال الجديدة في السجل الأحفوري –وهي التي يُفترضُ أنَّها الأشكال الانتقالية السابقة للكائنات الأخرى–، ومع ذلك يَفشلُ السجل الأحفوري ما قبل الكامبري في حفظ تجربة بيولوجية ثرية مثل هذه خلال العصور المتطاولة من الثبات التي تصورتها نظرية غولد في الجمهرات الكبيرة.

شهادة علم الأحافير الإحصائي

أَضافَت الدراساتُ في حقل علم الأحافير الإحصائي أسئلةً أُخرى حول ما إذا كان السجل الأحفوري يوثّق (أشكالًا انتقالية وسيطة) كافية لجعل التوازن المتقطع ذا مصداقية. وقد ناقشت في الفصل الثالث عمل عالم الأحافير الإحصائي مايكل فوته الذي استخدم نظرية الاعتيان sampling theory ليُجادِلَ بأنَّ السجل الأحفوري يوفِّرُ صورةً كاملة منطقية للأشكال الحياتية التي وجدت على سطح الأرض، واقترح عدم احتمال عثور علماء الأحافير على العديد من الأشكال الانتقالية التي تحتاجها الداروينية الجديدة.

كما حلَّل فوته السؤال حول ما إذا كان السجل الأحفوري يوثِّقُ العديد من الأشكال الوسيطة التي يتطلبها التوازن المتقطع، وكانت نتيجة بحثه الجملة التالية: "يَعتمدُ ذلك على أشياءَ أخرى".

ذَكَرَ فوته أنَّ قدرة أي تصوُّر معين لنظرية التطوُّر على تفسير أنماط معينة في السجل الأحفوري يَعتمدُ على نوع آليَّات التغيير التي يَتطلَّبُها ذلك التصور، إذ تَعتمدُ الداروينية الجديدة على آليَّة التغير البطيء المتدرِّج؛ لذا فإنَّها تواجه صعوبة

في تفسير دليل الظهور المفاجئ. حلَّل فوته فيما إذا كانت أعداد الأنواع الانتقالية المقترحة في السجل الأحفوري تتطابق مع التوازن المتقطع، واستنتج بأنَّ ذلك يَعتمدُ على مدى سرعة الآليات التي يعتمد عليها لتوليد الأشكال الحيَّة الجديدة. ورغم تصوُّر أنصار التوازن المتقطع لتطورٍ مفاجئٍ للأشكال الحية الجديدة –مقارنة مع الداروينية الجديدة–، إلا أنَّهم ظلُّوا يتوقَّعون أنَّ على السجل الأحفوري الاحتفاظ ببعض من تلك الأحافير الانتقالية. لكن هل يَحتفظُ السجل الأحفوري ولو بالقليل من الأشكال الوسيطة التي تُوحي نظرية التوازن المتقطع بوجوب وجودها؟

للإجابة على هذا السؤال طوَّرَ (فوته) طريقة إحصائية تَختبرُ فعالية النماذج التطورية المختلفة باستخدام متغيرات عديدة[٢٦]، ولاحظ شرطًا لنجاح التوازن المتقطع كنموذج شارح لبيانات السجل الأحفوري، ألا وهو حاجته إلى الآلية القادرة على إنتاج التغيرات التطورية الكبيرة بسرعة، لأنَّ التغيرات السريعة يُمكنُ أن تفسّر القلة النسبية في الأشكال الانتقالية عبر السجل الأحفوري. وشرحَ ذلك –بالاشتراك مع غولد– بأنَّ كفاءة التوازن المتقطع كتفسير للسجل الأحفوري تَعتمدُ على وجود آليَّة "سريعة ومرنة بشكلٍ غير معتاد".[٢٧]

لكن هل تَصِفُ لنا النظرية هذه الآلية؟

من أين تأتي الأشكال والخصال الجديدة؟

لا (الانتواع التبايني) ولا (انتقاء الأنواع) قادران على توليد الخصال الجينية والتشريحية الجديدة الضرورية لإنتاج الأشكال الحيوانية، ناهيك عن الزمن القصير نسبيًا للانفجار الكامبري، فالانتواع التبايني كما يتخيَّله غولد وغيره من أنصار التوازن المتقطع يَسمحُ فقط بالتثبيت السريع للخصال الموجودة سلفًا، ولا يولِّدُ خصالًا جديدة، وعندما تَنقَسم جمهرة أمٌّ إلى جمهرتين بنتين أو أكثر فإنَّ كل جمهرة بنت ستحتفظ بجزء من المجموع الجيني الخاص بالجمهرة الأصل –وليس كله عادة–، وهكذا فلن تتولَّدَ أي خصال جينية جديدة عبر الانعزال الجغرافي لجزء من الجمهرة عن غيره.

وبالطبع يُمكنُ لأحدُهم أن يُجادلَ بأنَّ الطفرات ربَّما تَحصلُ خلال عملية الانتواع، وبالتالي تتولَّد الخصال الجينية الجديدة، لكن كما تصوَّر غولد وإلدردج الأمر فإنَّ الانتواع التبايني يَحصلُ بسرعةٍ أكبر من أن تُعطى الطفرات فرصة معقولة لتوليد أي شيء جديد تمامًا.

أدرك داروين في (أصل الأنواع) أنَّ التطور عبارة عن لعبة أرقام؛ فجمهراتٌ ذات حجم أكبر وأجيال أكثرَ تقدِّمُ لنا فرصًا أكبر لظهور التباينات المفضلة، وشَرحَ الأمر بقوله: "دائمًا ما تمتلك الأشكال الموجودة بأعداد أكبر فرصة أفضل... لامتلاك مزيد من التباينات المفضلة، ليأتي الانتخاب الطبيعي ويَعملُ عليها، وهو ما يَندُرُ أن تحصل عليه الأشكال الحيَّة الموجودة بأعداد أقل".[٢٨] مع ذلك فلكي تولِّدُ آليات الانتواع التبايني خصالًا جديدة ستحتاج إلى توليد تغيرات مهمة في شكل الجمهرات الصغيرة (المعزولة محيطيًّا) خلال عدد قليل نسبيًّا من الأجيال.[٢٩]

وبسبب تلك القيود، استنتج العديد من خبراء البيولوجيا بأنَّ الانتواع التبايني يتطلَّبُ الكثير من التغيرات السريعة ليزود نظرية التوازن المتقطع بالآليات البيولوجية المقنعة القادرة على إنتاج الخصال أو الأشكال الحيَّة الجديدة.

لهذا السبب تخيَّل غولد وإلدردج في صياغتهم اللاحقة للنظرية أنَّ الخصال الجديدة تَنشأُ خلال مدَّة طويلة من الثبات في الجمهرات الكبيرة، بدلًا من ظهورها أثناء انفجارات الانتواع القصيرة، لكن العملية التي تَظهرُ فيها تلك الخصال "خلال العصور الطويلة من الثبات" لا تعتبر "سريعة ومرنة بشكلٍ غير معتاد"، رغم أنَّ ذلك هو ما يحتاجه التوازن المتقطع بالضبط -وفقًا لغولد وفوته- ليستطيع شرحَ الظهور المفاجئ للأشكال الحيوانية الجديدة.

إن لم ينتج الانتواع التبايني آلية سريعة الأداء في توليد الخصال الجينية الجديدة، فهل يَفعلُ ذلك انتخاب الأنواع؟ مجددًا، الجواب لا، إذ لا يَشرحُ انتخاب الأنواع نشوءَ الخصال التشريحية المختلفة التي تُميز نوعًا عن غيره، فانتخاب الأنواع كما قَدّم له أنصار التوازن المتقطع يَعملُ على الأنواع والخصال الموجودة مسبقًا، لكن بالطبع عندما تّصوَّر ستانلي وغولد وإلدردج الانتخاب الطبيعي وهو يَعملُ على تفضيل النوع الأكثر تكيّفًا على غيره في سباق البقاء، فإنَّهم يكونون قد افترضوا مسبقًا وجود مُجمّع من الأنواع المختلفة، بالتالي وجود بضعة آليَّات لإنتاج الخصال التي تُميز تلك الأنواع المختلفة. على كل الأحوال ستحتاجُ تلك الآلية بالضرورة لتولِّد تلك الخصال المختلفة قبل أن يَتَسنَّى لتلك الأنواع الدخول في منافسة مع بعضها البعض، لكن انتخاب الأنواع يُزيلُ الأنواع الأقل تكيفًا من سباق البقاء، ولا يولِّدُ الخصال التي تفرق الأنواع عن بعضها البعض، والتي تؤسس للتنافس ما بين الأنواع. فمن أين تأتي تلك الخصال إذن؟

اعترف غولد في النهاية أنَّ نشوءَ الخصال التشريحية بحد ذاتها ينتج من الانتخاب الطبيعي التقليدي، الذي يعملُ على التنوعات والطفرات العشوائية، وذاك هو عين آلية الداروينية الجديدة التي تَعملُ على مدى عصور متطاولة على الجمهرات المستقرَّة والكبيرة نسبيًا. لكنّ ذلك يَعني أنَّ التوازن المتقطع يَخضعُ لنفس المشاكل الاستدلالية والنظرية التي تُعاني منها الداروينية الجديدة بنفس قدر اعتماده على الطفرات والانتخاب الطبيعي، وأحد هذه المعضلات هي أنَّ الآلية الداروينية الجديدة لا تعملُ بالسرعة الكافية لشرح الانفجار الظاهر في الأشكال الأحفورية الجديدة في الحقبة الكامبرية، وعليه نَجِدُ أنَّ انتخاب الأنواع (تمامًا كالانتواع التبايني) غير مؤهل ليكون الآلية السريعة والمرنة التي أصرَّ غولد في مكان آخر على أنَّ نظريته تَقتَضي وجودها لتفسر ظهور الأشكال الحيوانية في السجل الأحفوري فجأة.

شكل جديد وآلية جديدة

هناك صعوبة أعمق تواجه التوازن المتقطع كمفسّر لبقايا الانفجار الكامبري، فلا انتخاب الأنواع ولا الانتواع التبايني يَشرحان نشوء ممثلي التصنيفات العليا، والتي هي الأنواع الحيوانية الجديدة الممثلة للشعب الجديدة والأصناف، كما لا يشرحان نشوء الصفات التشريحية والمورفولوجية التي تُفرقُ بين الأشكال الحيوانية عن بعضها وعن الأشكال الحيَّة السابقة. إنَّما يَشرحُ الانتواع التبايني كيفية انفصال الجمهرات عن بعضها لتُشكِّل أنواعًا جديدة، ويَصِفُ انتخاب الأنواع كيفية سيطرة الأنواع الأكثر تكيّفًا عن باقي الأنواع في سباق البقاء، لكن لا تَشرح أي من الآليتين كيفية ظهور الحيوانات الممثلة للتصنيفات العليا أو بُناها التشريحية المحدثة، كما لا تشرحان على سبيل المثال نشوء العين المركبة في ثلاثيات الفصوص، ولا الخياشيم في الأسماك الكامبرية[٣٠]، ولا مخطَّطات أجساد شائكات الجلد.

وقد ذَكرَ عددٌ من نقاد نظرية التوازن المتقطِّع تلك المعضلة، فكتب ريتشارد دوكنز عام ١٩٨٦: "ما أريده حقًّا هو نظرية تطورية تَشرحُ تعقيد الآليات المصمَّمة بشكلٍ جيد ك(القلب واليدين والعينين وجهاز تحديد المواضع بالصدى echolocation)، إذ لا يَعتقدُ أحدٌ –ولا حتى أكثر المتحمسين المتعصبين لآليات الانتخاب الطبيعي– بقدرة انتخاب الأنواع على فعل ذلك".[٣١] أو كما قال عالمُ الأحافير جفري ليفنتون عام ١٩٨٨: "لا يُمكنُ تَصوُّر قدرة انتخاب الأنواع على إنتاج تطور في البُنى المورفولوجية المفصلة... إذ لم تتشكَّل العين عبر انتخاب الأنواع".[٣٢] إذن من أين أتت تلك البُنى المعقدة؟ مجددًا، عندما تَعرَّضَ غولد للضغط لجأ للقدرات المزعومة لآليات الداروينية الجديدة، كما كتبَ ذلك بنفسه في كتابه الموسع (بنية النظرية التطورية) المنشور في عام ٢٠٠٢ –وهي سنة وفاته–: "لا أُنكرُ عجائب التعقيد التكيفي المنظم ولا أهميته الكبيرة"، ومن ثم يَعترفُ بقوله "أدرك أنَّنا لا نَعرِفُ أية آلية تؤدِّي لنشوء سمات الكائنات الحيَّة سوى آلية الانتخاب الطبيعي التقليدية على مستوى المتعضية".[٣٣]

لهذا السبب، فالقليل من علماء البيولوجيا التطورية –هذا إن وُجدوا أصلًا– يَعتبرون التوازن المتقطِّع حلًا لمعضلة نشوء الأشكال البيولوجية المبتكرة، وقد خَلُصَ علماءُ البيولوجيا التطورية (برايان تشارلزوورث) و(مونتغومري سلاتكين) و(راسل لاندي) إلى التالي: " الآليات الجينية المقترحة من قبل أنصار التوازن المتقطع، والتي يفترض أنَّها تَشرحُ الظهور المفاجئ للعديد من الأنواع واستتبابها طويل الأمد، تَفتقدُ للأدلَّة التجريبية الداعمة بكل وضوح".[٣٤]

فقاعة الاهتمام والانحدار التدريجي

بالرغم مما سبق، فرَّبما لا يكون من العدل أن نَنتقدَ التوازن المتقطِّع لفشله في شَرحِ الانفجار الكامبري، وقد راوغ غولد –تحديدًا– حول ما رَمَى إليه من فكرة التوازن المتقطع؛ أهو نظرية شاملة للتغيُّر التطوري الكبير أم أنَّه شارح فقط لكيفية ظهور الأنواع الجديدة من حوض الأنواع الموجودة سلفًا. إذ بالمعنى الدقيق للكلمة، تَسعَى كل من آلية الانتواع التبايني وآلية انتخاب الأنواع لشرح أنماط الثبات والانقطاع بين الأنواع المختلفة، وليس بين التصنيفات العليا، لذا نَجدُ غولد يَشتَكي قبيل نهاية حياته المهنية من النقاد الذين فهموا نظريته "خطأً" بتأكيدهم على أنَّه "أعلن الإطاحة الكاملة بالداروينية"، و "أرادَ أن يكون التوازن المتقطع آلة التدمير، ويكون البديل، في الوقت ذاته".[٣٥]

مع هذا فقد قدَّم غولد وإلدردج التوازن المتقطع على أنَّه نظرية تطور بيولوجي جريئة جديدة، في بداية الأمر على الأقل، وهي تُعطي انطباعًا بأنَّها تقدِّمُ حلًّا طموحًا لمعضلة التطور الكبروي من خلال استخدام أحداثٍ كالانفجار الكامبري. فمنذ عام ١٩٧٢ وحتى ١٩٨٠ قدَّم إلدردج وغولد سلسلة من الأوراق العلمية المثيرة، والتي صوَّرت التوازن المتقطع على أنَّه نظرية بديلة جريئة وثورية لما سبقها من نظريات التطور الكبروي، وبالفعل فقد ذكرَ غولد بنفسه وبوضوح ذلك من خلال تسميتها بـ(نظرية الانتواع في التطور الكبروي a speciational theory of macroevolution).[٣٦]

في ورقتهم البحثية الثانية المنشورة في ١٩٧٧ أوضَحَ غولد وإلدردج بشكلٍ لا لبس فيه نيتهما تنصيب نظريتهما على أنَّها تحدٍّ "جوهري" للتدرجية الداروينية

الجديدة، وأنَّ نظريتهما الجديدة تَحملُ فهمًا مختلفًا تمامًا لنمط آليات التغير التطورية. وقد لاحظ سبكوسكي ذلك في المقال نفسه المكتوب في عام ١٩٧٧ بقوله: "كان المؤلفان واضحين أكثر في ما يتعلق بالطبيعة الدقيقة للمفاهيم التي أعادت نظريتُهما تشكيلها حول التطور الكبروي"[٣٨]، وذكر بأنَّ غولد وإلدردج قاما "بتوسيع مدى نموذجهما ليقترحا فلسفة جديدة وعامة حول التغير في عالم الطبيعة".[٣٩] كما أنَّ غولد لم يكن أقل ثورية في ورقة بحثية نشرها عام ١٩٨٠ في مجلة علم بيولوجيا الأحافير Paleobiology وكثر الاستشهاد بها، حيث قدَّم فيها التوازن المتقطع على أنَّه "نظرية جديدة وعامة" للتطوُّرِ. هناك أيضًا أعلن وعلى نحو مشهور أنَّ النظرية التركيبية للداروينية الجديدة "قد ماتت بشكلٍ نهائي، بغض النظر عن إصرار كتب المناهج التدريسية التقليدية".[٤٠]

لكن فقط وبعد أن فَضَحَت الانتقادات افتقاد التوازن المتقطع للآلية الكافية، اِنسَحَبَ غولد إلى صيغةٍ أكثر محافظة للنظرية، معيدًا إياها بوضوح للاعتماد على الآليات الداروينية الجديدة. وقد قدَّم غولد سلسلة من التنازلات منذ بداية الثمانينيات وحتى موته عام ٢٠٠٢، وكان ذلك بالتحديد حول ضعف الانتواع وانتخاب الأنواع كآليات في توليد التكيفات المعقدة. دوّن سبكوسكي ملاحظته حول ذلك بالقول أنَّه "ورغم جرأة العديد من مزاعمه حول التوازن المتقطِّع على مرِّ السنين، إلا أنَّ ذلك كان في الماضي، أمَّا اليوم فقد عادت تصريحاته لتكون أكثر تحفُّظًا حول نظريته"، وخصوصًا في آخر ما كتبه من سنين عمره (بنية النظريةالتطورية The Structure of Evolutionary Theory).[٤١]

في النهاية، أعادت تنازلات غولد للداروينية الجديدة أفكاره مرة أخرى، لتَتَصادم مع نمط الظهور المفاجئ في السجل الأحفوري، والذي صُمِّمَت له نظرية

التوازن المتقطع لكي تَشرحه. فإذا ما كان غولد وإلدردج على حق في الظهور المفاجئ للأشكال الحيَّة الجديدة في السجل الأحفوري وكانت آليات الداروينية الجديدة تَحتاجُ لوقت بقدر ما وضَّحَه وحسبه علماءُ الوراثة السكانية والبيولوجيون التطوريون (انظر الفصل ٨ و١٢)، عندئذ لن تَملكَ الطفرات وآليات الانتخاب الوقتَ الكافي لإنتاج الخصال الجديدة الضرورية لبناء الأشكال الحيوية الظاهرة لأول مرة في العصر الكامبري، وأيضًا لم يَقدِّم التوازن المتقطع أية فائدة لعجز آلياته –التي اعتمدت بداية بشكلٍ أساسي على الانتواع التبايني وانتخاب الأنواع– عن تقديم أي تفسير يَشرحُ نشوء الخصال الجديدة.

وعليه نَجِدُ أنَّ التوازن المتقطِّع قد أَلقى الضوء على المعضلة التي تُعاني منها نظرية التطور دون أن يَجِدَ حلًا لها، وتلك المعضلة هي أنَّ الداروينية الجديدة تَزعمُ امتلاكها لآليات قادرة على إنتاج الخصال الجينية الجديدة، لكن يبدو أنَّها تُنتجُ تلك الخصال ببطءٍ شديد، لا يُفسِّرُ الظهور المفاجئ للأشكال الجديدة في السجل الأحفوري. يُحاولُ التوازن المتقطع أن يفسِّرَ النمط الظاهر في السجل الأحفوري، لكنَّه يَفشل في توفير الآليات التي يمكنها إنتاج الخصال الجديدة، سواء كانت مفاجئة أم لا، ولا عجب بعد ذلك أن يَخلُصَ علماءُ الأحافير الكامبرية الروَّاد مثل جيمس فالنتاين ودوغلاس إروين عام ١٩٨٧ للقول التالي: "لا يَبدو أنَّ أيًّا من نظريات التغير التطوري المتنافسة على مستوى الأنواع أو نظريات التدرُّج على نطاق الشعب أو حتى التوازن المتقطع قابلة للتطبيق لشرح نشوء مخططات الأجساد الجديدة".[٤٢]

الدوران في حلقات مفرغة

في لحظة خاطفة من ضوضاء محل غسيل الثياب، أدركَ نيلز إلدردج أنَّ الثبات في السجل الأحفوري يُمثِّلُ دليلًا بدلًا من كونه فشلًا بحثيّا. لكن كما تَدورُ الملابس في الغسَّالة، علِقت نظرية التوازن المتقطع في دائرة مملَّة من التناقض، فمن الجهة الأولى قدَّم (التوازن المتقطع) محاولة جريئة ليَصِفَ بدقَّةٍ أكبر ويَشرحَ نمط الانقطاع الذي لا ريب فيه في السجل الأحفوري، لكنه من جهة أخرى يُجبر أنصاره على التنازل عن آلياته العاجزة التي قدَّموها، وكذلك التنازل عن احتياجهم للاعتماد على عمليات الداروينية الجديدة من الطفرات والانتقاء لشرح نشوء الخصال الجينية الجديدة والبُنى التشريحية المبتكرة. وبعد أن بدا واضحًا هجرُ غولد لكلٍّ من التدريجية والاعتماد على آليات الداروينية الجديدة في مَسعَى للانتقال بالنظرية التطورية إلى الانسجام مع السجل الأحفوري، عاد في النهاية ليعترف بعجزه عن تفسير نشوء الأشكال الحيَّة الموثَّقة في السجل الأحفوري بمعزل عن آلية التدرجية البطيئة، لذا رغم تصويره نظرية التوازن المتقطع في البداية على أنَّها حل لغز الظهور المفاجئ والغامض للأشكال الحيوانية، نجدها بعد التحقيق الممحص قد فشلت في تقديم حل كهذا.

على أية حال، دَفعَ فشل التوازن المتقطع في توفير الآلية الكافية إلى التشكيك في كفاية الآليات التي أكَّد غولد مجددًا وبشكلٍ أساسي على أنَّها التفسير لأصل الأشكال البيولوجية الجديدة، فهل بإمكان آليات الداروينية الجديدة من انتخاب طبيعي يَعملُ على الطفرات العشوائية أن تَبني الأشكال الحيوانية بكل تكيفاتها المعقدة؟ إن كان الأمرُ كذلك، فهل من الممكن أن تقوم بذلك في فترة موجزة من الزمن كتلك التي يَسمحُ بها السجل الأحفوري؟ وإن لم يكن الأمر

كذلك، فهل من المنطقي أن نَعتَقِدَ بقدرتها على بناء الأشكال الحيوانية الجديدة إذا ما توفَّر لها الوقت اللازم فحسب؟ ولو كان الأمر كذلك، فكم من الوقت ستحتاجه الآليات الداروينية لبناء التكيفات المعقدة والأشكال الحيوانية الجديدة؟ سأجيب في الفصول التالية عن تلك الأسئلة الأساسية الكامنة في قلب اللغز الكامبري، وهي –اختصارًا– أسئلة حول كيفية بناء حيوان ما.

الجزء الثاني

كيف تُنشئ حيوانًا

الفصل الثامن

الانفجار المعلوماتي الكامبري

الانفجار المعلوماتي الكامبري

"إذا كُنت تريد أن يَكتسبَ حاسوبك وظيفة أو قدرة جديدة، فما الشيء الذي يَجبُ أن تمنحه إياه في اعتقادك؟" هذا هو السؤال الذي اعتدت أن أطرحه على طُلابي حينما كنت أستاذًا في الكلية، وكالعادة كُنتُ أسمع منهم عددًا محدودًا من الإجابات المتشابهة مثل: شيفرة – تعليمات – برامج – معلومات. بالطبع إنَّ كل تلك الإجابات سليمة، وبفضل الاكتشافات في علوم الأحياء الحديثة فإنَّنا نعلم الآن أنَّ شيئًا مشابهًا للمثال السابق يَنطبقُ على ما حدث في الحياة، فلكي تُؤسس شكلًا جديدًا من الحياة من شكل موجود سابقًا فإنَّ ذلك يَتَطلَّبُ معلومات جديدة.

لذلك قُمت بفحص جانب رئيسي من ذلك اللغز الذي يُحيطُ بالانفجار الكامبري؛ وهو لغز فقد أشكال الحياة السلفية ما قبل الكامبرية، والتي تتوقَّعُ النظرية الداروينية وجودها. سوف أفحص في الفصول التالية جانبًا آخر من اللغز الكامبري ربَّما يكون أعمق، وهو سبب ذلك الانفجار الكامبري وبأيّة وسيلة أو عملية أو طريقة ظَهرَ شيء معقد مثل ثلاثي الفصوص (تريلوبايت)؟ هل يَستطيعُ الانتقاء الطبيعي إنجاز خطوة كبيرة بذلك الحجم؟ لنُجيب على هذا السؤال فإنَّنا سننظر بعناية أكثر إلى ما يَتطلَّبه إنشاء نمط جديد من الحياة الحيوانية، وسنجد أن جزءًا مُهمًّا من إجابة هذا السؤال ذو علاقة ما بمفهوم المعلومات.

التفسير الدارويني لنشوء الأشكال الحيوانية

لا يَستطيعُ الانتقاء الطبيعي كما تصوَّره داروين إنجاز أي شيء دون إمداد مستمر من التغايرات variation التي تَعملُ كمصدر لسماتٍ وأنماطٍ وبنى أحيائية جديدة، وبعد ظهور تغايرات مفيدة فقط يستطيع الانتقاء الطبيعي انتقاءها من بين

نفايات التغايرات غير المفيدة. مع ذلك، فإذا كانت كمية التغايرات المُتاحة للانتقاء الطبيعي محدودة فسوف يواجه محدودية في المقدار الجديد الذي يُمكنُ أن يُنتجَ من البنية أو الشكل البيولوجي.

أدرَكَ كبارُ العلماء ذلك منذ أواخر القرن التاسع عشر، لهذا السبب ظَهرَ جدلٌ علمي تاريخي طويل حول مدى القدرة الإبداعية للانتقاء الطبيعي في الإنتاج بالضبط، وحول ما إذا كان الانتقاء الطبيعي هو بالفعل عملية خلاقة. الحقيقة أنَّ الداروينية التقليدية دَخلت في فترة من الاندثار ما بين ١٨٧٠ إلى ١٩٢٠، ذلك لأنَّ الكثير من العلماء كان يَعتقدُ بأنَّها لا تَستطيعُ تفسير نشوء أو انتقال تغاير جديد بشكلٍ موروث.[١]

فضَّلَ داروين نظرية الوراثة المخلّطة التي بدا أنَّها تتضمن محدودية في كم التغاير الجيني[٢]، واعتقد أنَّه عندما يحمل الوالدان صفات مختلفة في خلاياهما الجنسية التي تتلاقى وتندمج أثناء التكاثر الجنسي فإنَّ النسلَ الناتج –بدلًا من أن يتلقى مجموعة الصفات الأبوية أو الأمومية– فإنَّه سيتلقى نسخة وسطًا بين الاثنتين، مثلًا لو حَملَ طائر ذكر ريشًا أحمر اللون في أجنحته وتزاوج مع أنثى من نفس نوع الطائر تَحملُ ريشًا أبيض اللون في أجنحتها، فإنَّ النظرية تقتضي أنَّ نَسلَهما سوف يَحملُ ريشًا وردي اللون على جناحيه، وقد أشار كثيرٌ من معاصري داروين إلى أنَّ هذا النموذج من الوراثة المخلطة يَقتضي محدودية شديدة في معدل الصفات التي يُمكنُ أن تظهر، ممَّا يُجرِّدُ الانتقاء الطبيعي من هذا الإمداد الواسع من التباينات المطلوبة لإنتاج تغيرات جوهرية في أشكال الحيوانات، فهذا النسل ذو الريش الوردي يُمكنُ أن يتزاوج فيما بعد مع طائر آخر من نفس النوع يَحملُ ريشًا أبيض أو أحمر اللون، منتجًا بذلك لونًا أفتح أو أغمق بقليل من الريش الوردي، غير أنَّ

النسل الناتج من الزوج الأصلي ذي الريش الأبيض والآخر ذي الريش الأحمر لن ينتج أجيالًا لاحقة تحملُ ريشًا أخضر أو أزرق أو أصفر، ولو كان هذا النموذج حقًا لأدت الوراثة المخلطة في النهاية إلى قالب صلب متجانس عديم التباينات بين البشر.

في ستينيات القرن التاسع عشر أظهر الأسترالي جريجور مندل Gregor Mendel (الذي يُعتبر على نحو واسع مؤسس علم الجينات الحديث) من خلال عمله في مزرعة البازلاء أنَّ ادعاءات داروين حول الوراثة المخلطة كانت غير صحيحة، فقد أَظهَرَت نتائج دراساته –مبدئيًا على الأقل– الكثير من المشكلات في الداروينية، فأظهر أنَّ الصفات الجينية للكائنات الحيَّة تَتَميَّزُ بامتلاك نظام يقاوم الخلط، وقد أظهر ذلك باستخدام التلقيح بين نباتات بازلاء صفراء ونباتات بازلاء خضراء، فكانت النباتات المُنتَجة في الأجيال اللاحقة بازلاء صفراء أو خضراء، ولم يُنتَج نوع بين اللونين أو نوع بلون مختلف البتة.[٣]

وقد أظهَرَ أيضًا أنَّ النباتات تَحملُ نوعًا ما من الإشارات والتعليمات لإنشاء صفات مختلفة، حتى عندما لا تكون الصفة ظاهرة في نبات معين، فلاحظ مثلًا أنَّه عندما لقح نبات بازلاء ذي بذور خضراء مع آخر ذي بذور صفراء فإنَّ الجيل التالي حمل فقط بذورًا صفراء، وكأن القدرة على إنتاج بازلاء خضراء قد فقدت، لكن عندما لقح نباتات الجيل الثاني ببعضها وجدَ أنَّ كلًا من البازلاء الصفراء والخضراء قد ظَهرَ في الجيل الثالث بنسبة ٣ إلى ١، ومن ثم افترض مندل أنَّ الجيل الثاني اِستَمَر في حمل إشارات –سمَّاها (عوامل)، وسمَّاها العلماءُ فيما بعد بالجينات– لإنتاج بازلاء خضراء، حتى ولو لم تُظهِر تلك النباتات بالذات تلك الصفة.

اقترحت علوم الوراثة المندلية التقليدية -والتي حلَّت محل نظرية الوراثة المخلطة لداروين- وجود محدودية في كم التغير الجيني المتاح للانتقاء الطبيعي أيضًا، فلو أنتج التكاثر في النبات إمَّا بازلاء خضراء أو صفراء، ولم ينتج أبدا نمطًا وسيطًا -وأيضًا لو بقيت الإشارات اللازمة لإنتاج صفة الأخضر أو الأصفر غير متغيرة من جيل لآخر-، فإنَّ من الصعب رؤية الكيفية التي ينتج فيها التكاثر الجنسي والتأشيب الجيني genetic recombination أيَّ شيء أكثر من تلك التركيبات الوحيدة الناتجة عن خلط السمات الموجودة بالفعل.

في العقود التالية مباشرة لعمل مندل أصبحَ علماءُ الوراثة يَفهمون الجينات على أنَّها وحدات أو تكتلات منفصلة من المعلومات الوراثية، التي يُمكنُ أن توزع وتخلط باستقلالية داخل الصبغي، ويُشيرُ هذا أيضًا إلى وجود كم مهم -لكنه لا يزال محدودًا بشدة- من الاختلاف الجيني الذي قد يظهر بواسطة التأشيب الجيني أثناء التكاثر الجنسي، بالتالي أظهرت علوم الوراثة المندلية أسئلة مهمة حول ما إذا كانت عملية الانتقاء الطبيعي تمتلك الاختلاف الكافي -الذي أصبح بعد مندل يُعرفُ بكونه اختلافًا جينيًا- والذي يَسمح لها بإنتاج أي تجديد مهم في المورفولوجيا. وظلَّت نظرية داروين في انحسار لمدة من الزمن.

الداروينية تتحوّل

أعادت تطورات علم الوراثة في عشرينيات وثلاثينيات وأربعينيات القرن العشرين إحياء الانتقاء الطبيعي على أنَّه المحرك الرئيسي للتغير التطوري، وقد أظهَرَت تجارب هيرمان مولر Hermann Muller في عام ١٩٢٧ أنَّ الأشعة السينية قادرة على تَبديل المحتوي الجيني لذباب الفاكهة، ممَّا نتج عن ذلك

تغايرات غير معتادة[٤]، فأطلق مولر على هذه التغايرات اسم (الطفرات)، ليُعلنَ بعدها بقليل علماءُ آخرون أنَّهم قد أحدثوا طفرات في جينات بعض الكائنات، منها الإنسان، وأيًّا تكن المادة التي تُصنع منها الجينات –كان علماء الأحياء حينذاك لا يَعرفونها–، فقد أشارت تلك الاكتشافات الجديدة إلى إمكانية حدوث تغايرات أكثر مما يَفترضه داروين، وممَّا تَفترضه علوم الوراثة المندلية التقليدية. اِكتَشَف علماءُ الوراثة آنذاك أنَّ تلك التغايرات الطفيفة في الجينات ربَّما تكون موروثة[٥]، لكن لو كانت النسخ المختلفة من الجينات موروثة فمن المحتمل أن يُفضلَ الانتقاء الطبيعي اختلافات الجين المميزة، ويُقصي الباقي، إذ لن تَستطيع تلك الطفرات بعد ذلك أن تُؤثِّرَ على الاتجاه المستقبلي للتطور، أو أن تقدِّمَ –بشكلٍ نظري على الأقل– إمدادًا غير محدود من التباينات لورشة عمل الانتقاء الطبيعي.

قدَّم اكتشاف الطفرات الجينية طريقةً لتسوية نزاع النظرية الداروينية مع علوم الوراثة المندلية، ففي ثلاثينيات وأربعينيات القرن العشرين قامَت مجموعةٌ من علماءِ الأحياء التطورية تشمل سيوول رايت Sewall Wright وإرنست ماير Ernst Mayr وثيودوسيوس دوزانسكي Theodosius Dobzhansky و ج. ب. س. هالدين J. B. S. Haldane وجورج جايلور سيمبسون George gaylor simpson بمحاولة التدليل على تلك الاحتمالية، مستخدمين نماذج حسابية لإظهار أنَّ الاختلافات طفيفة المدى والطفرات يُمكنُ أن تتراكم بمرور الوقت في المجتمع ككل، وتُفضي في النهاية إلى إنتاج تغيُّر واسع المدى في البنية والشكل، وقد كونت تلك النماذج الحسابية الأسس النظرية لأحد فروع علم الوراثة، والذي سُمِّي بعلم الوراثة السكانية، وقد سُمّيت محصلة الجمع بين علوم الوراثة المندلية

والنظرية الداروينية بـ(الداروينية الحديثة neo-Darwinism)، أو ببساطة (النظرية التركيبية الحديثة New Synthesis).

طبقًا لتلك النظرية التركيبية الحديثة فإنَّ طريقة عمل الانتقاء الطبيعي على الطفرات الجينية كافية لتفسير أصل الأشكال البيولوجية الجديدة، إذ يُمكنُ أن تتراكم التغيُّرات التطورية الصغروية microevolutionary changes لتُنتج ابتكارات تطورية كبروية macroevolutionary innovations، وقد أشارَ مختصو الداروينية الحديثة إلى أنَّهم أعادوا الانتقاء الطبيعي للحياة باكتشافهم آليَّة خاصة للتغاير، وهو ما يَستطيعُ توليد أشكال جديدة للحياة من أخرى سابقة أكثر بساطة. بحلول الذكرى المئوية الأولى لكتاب داروين حول أصل الأنواع عام ١٩٥٩ كان من الشائع القول بقدرة الانتقاء الطبيعي والطفرات العشوائية على بناء أشكال جديدة حيَّة بمرور الزمن، ويكون لها مخطَّطات جسدية متميزة وبُنى تشريحية مبتكرة، أثناء الاحتفال لخَّص جوليان هكسلي Julian huxley –حفيد ت.هـ. هكسلي– تلك النظرة التفاؤلية في بيان فخم فقال:

"ربَّما يَتَّخِذ المؤرخون في المستقبل أسبوع اليوبيل المئوي هذا كتلخيص لفترة مهمة وحرجة من تاريخ كوكبنا الأرضي، تلك الفترة التي بدأت فيها عملية التطوُّر في ذات الإنسان الموجود حاليًا، والذي بدأ يُدركُ نفسه حقًا... هذه واحدة من أوائل المناسبات التي فسَّرت بوضوح كل جوانب الواقع على أنَّها خاضعةٌ للتطوُّر، من الذرات والنجوم إلى الأسماك والزهور، ومن الأسماك والزهور إلى المجتمعات والقيم الإنسانية، فليس كل الواقع –حقيقةً– سوى عملية واحدة من التطور".[٧]

وأثناء البثّ المرئي الخاص بالاحتفال باليوبيل المئوي، عبَّر هكسلي عن حالة التفاؤل بكلمات وجيزة: "أصبحت الداروينية في طَورِ النضج إن جاز التعبير، وليس لنا أن نُرهق أنفسنا بعد الآن في ترسيخ حقيقة التطور".[٨] فقد رسخ فعلًا.

التغايرات كمعلومات

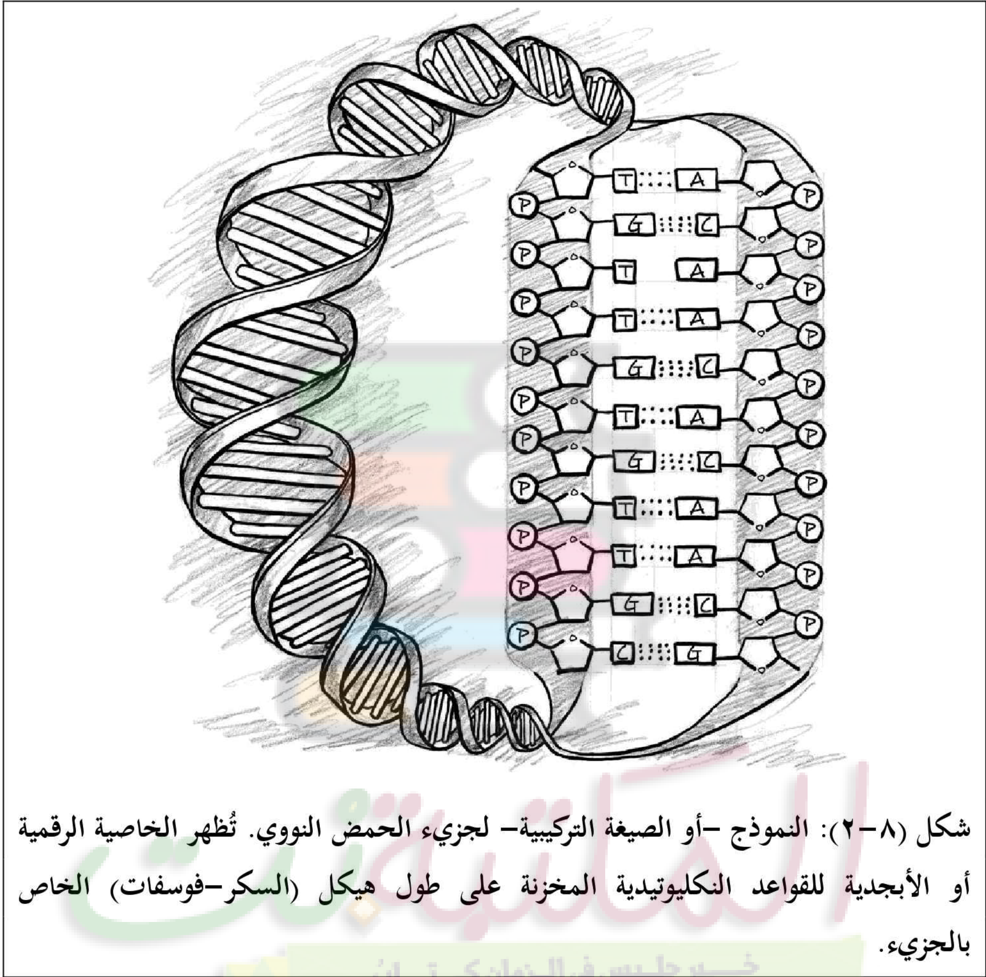
في البداية، أسهَمَ اكتشاف البناء الهيكلي للحمض النووي DNA بواسطة جيمس واتسون James Watson وفرانسيس كريك Francis Crick عام ١٩٥٣ في تَحقيق نشوة الانتصار[٩]، فقد أشارَ ذلك في الواقع إلى رفع الغشاوة عن آلية التغايرات الجينية والطفرات، بالإضافة لظهور علم الأحياء الجزيئية إلى النور. وقد أشار نموذج واطسون وكريك للهيكل ثنائي الحلزون للحمض النووي إلى أنَّه يُخزَّن المعلومات الجينية في صورة شيفرة كيميائية رقمية رباعية الحروف.(الشكل ٨-١) أثبَتَ علماءُ الأحياء الجزيئية بعد أن طَرحَ فرانسيس كريك صيغته الشهيرة باسم (فرضية التسلسل sequence hypothesis) أنَّ الوحدات الفرعية الكيميائية على طول الهيكل البنائي للحمض النووي -والتي تُسمَّى بالأسس النكليوتيدية- تَعملُ بشكلٍ مشابه تمامًا للحروف الأبجدية في اللغة المكتوبة، أو الرموز الرقمية في شيفرة آلية. وقد برَهَنَ علماءُ الأحياء أنَّ الترتيب الدقيق لهذه القواعد النكليوتيدية يَنقلُ التعليمات لبناء البروتينات[١٠](الشكل ٨-٢)، وقدَّر أيضًا علماءُ الأحياء الجزيئية أنَّ مخزون المعلومات الجينية في الحمض النووي يَنتقلُ في الخلايا والكائنات الحيَّة من جيل لآخر. فما تمَّ باختصار هو ترسيخ فكرة أنَّ الحمض النووي يُخزنُ معلومات وراثية لبناء البروتينات، ومن ثم لبناء سمات تشريحية وبُنى عُليا كذلك.

أدَّى توضيح البنية ثنائية الحلزون إلى حلٍّ بعض المشكلات الموجودة منذ عهد بعيد في علوم الأحياء التطورية، إذ حافظ الداروينيون طويلًا على فكرة أنَّ الانتقاء الطبيعي قد أنتَجَ أشكالًا حيَّة جديدة عبر فصل التغايرات الجينية، كفصل حبة القمح عن قشرتها مثلًا، لكنَّهم لم يَعرفوا أين تكون المادة الخام لكل التغايرات المتنافسة الباقية، كما لم يَعرفوا أيضًا كيف خزَّنت الجينات المعلومات لإنتاج الصفات المرتبطة بها. علاوة على ذلك، حتى بعدما اكتشف علماءُ الوراثة أنَّ الصفات الجينية الثابتة يُمكنُ أن تتحور بواسطة الطفرات، ظلَّ الشكُّ يُساورهم بشأن الشيء الذي يَخضعُ للتطفر حقًّا، وبناء على ذلك كان علماءُ الأحياء في ارتياب بشأن مكان حدوث التغايرات والطفرات بالضبط.



شكل (٨-١): جيمس واطسون (على اليسار)، وفرانسيس كريك (على اليمين) يقدِّمان نموذجهما عن البنية الهيكلية لجزيء الDNA في عام ١٩٥٣. بإذن من A. Barrington Brown/Science Source.

قدَّم نموذج واطسون وكريك إجابة لذلك السؤال: تتوافق الجينات مع تسلسلات طويلة من الأسس على طول الDNA. واستنادًا لهذه النظرة اقترح علماءُ الأحياء التطوُّرية أنَّ تلك التغايرات الجديدة تَظهرُ أولًا من التأشيب recombination الجيني لأجزاء مختلفة من الحمض النووي -جينات مختلفة- أثناء التكاثر الجنسي، وثانيًا من نوع خاص من التغايرات يُسمَّى بالطفرات، وهي التي تحدث نتيجة التغيرات العشوائية في ترتيب الأسس النكليوتيدية في الحمض النووي، تمامًا كقدرة أخطاء مطبعية قليلة في جملة باللغة الإنجليزية أن تغير معنى كلمات قليلة أو حتى الجملة كلها، كذلك يُمكنُ أن يُنتج تغيُّرٌ في الترتيب التسلسلي للأسس في (النص) الجيني في الDNA بروتينات أو صفات مورفولوجية جديدة.



شكل (٨–٢): النموذج –أو الصيغة التركيبية– لجزيء الحمض النووي. تُظهر الخاصية الرقمية أو الأبجدية للقواعد النكليوتيدية المخزنة على طول هيكل (السكر–فوسفات) الخاص بالجزيء.

طرحَ اكتشاف واطسون وكريك أسئلةً جديدةً، هي على وجه الخصوص أسئلة حول المعلومات الضرورية لبناء أشكال جديدة كاملة من الحياة أثناء سير التطوُّر الأحيائي. فمن الحقيقة أنَّ الطفرات تَلعبُ دورًا في تلك العملية، لكن هل تستطيع الطفرات إحداث معلومات كافية لإنتاج أشكال جديدة من الحياة الحيوانية شبيهة بتلك التي ظهرت في العصر الكامبري؟ كالانفجار –التكاثر الواسع– للمعلومات البيولوجية الجديدة؟

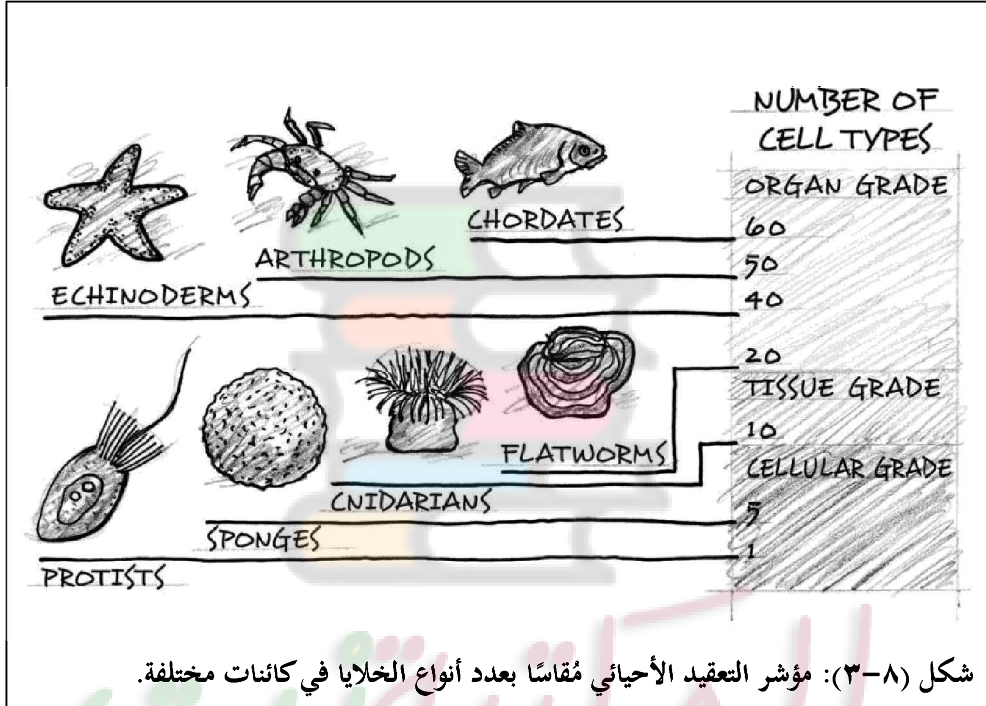
الانفجار المعلوماتي الكامبري

بالنظر لمقتمعات السوط choanoflagellates –وهي مجموعة من وحيدات الخليَّة حقيقية النواة، ولها سوط–، ما الذي يَفصلُ تلك الكائنات عن ثلاثيات الفصوص أو الرخويات أو حتى الإسفنج البسيط؟ من الواضح أنَّ كل هذه الأشكال البيولوجية الثلاثة العليا أكثر تعقيدًا من أي كائن وحيد الخلية، لكن إلى أي مدى بالضبط يَصلُ هذا الفرق في التعقيد؟

لاحظ جيمس فالنتاين وجود طريقة واحدة صالحة لمقارنة درجات التعقيد، هي قياس عدد أنواع الخلايا في الكائنات المختلفة.[١١](شكل ٨–٣) بالرغم من امتلاك حقيقيات النواة وحيدة الخليَّة للكثير من العناصر الداخلية المتخصصة كالنواة والعضيات المختلفة، إلا أنَّها تبقى تمثل بوضوح نوعًا واحدًا فقط من الخلايا، وتَحتاجُ الحيوانات ذات التعقيد الوظيفي الأعلى أنواعًا أكثر من الخلايا لتؤدِّي وظائفها الأكثر تنوعًا، إذ تمتلك مفصليات الأرجل والرخويات على سبيل المثال عشرات الأنسجة والأعضاء الخاصة، كل منها يَحتاجُ أنواعًا من الخلايا المتخصصة وظيفيًا.

تَحتاجُ تلك الأنواع الجديدة من الخلايا بدورها للعديد من البروتينات الجديدة والمتخصّصة، حيث تفرز الخلية الظهارية epithelial cell التي تبطن القناة الهضمية أو الأمعاء على سبيل المثال إنزيما هاضمًا خاصًّا، وهذا الإنزيم يَحتاج بروتينات بنائية ليُعدِّل شكله، وإلى إنزيمات منُظِّمة للتحكم في إفرازه، بالتالي يحتاجُ بناء أنواع جديدة من الخلايا بناء بروتينات جديدة، وهو ما يَتطلَّبُ تعليمات

مركبة لبناء البروتينات، تلك التعليمات هي المعلومات الوراثية، هكذا فإنَّ زيادة عدد أنواع الخلايا يَقتَضى زيادة في كم المعلومات الوراثية.



شكل (٨-٣): مؤشر التعقيد الأحيائي مُقاسًا بعدد أنواع الخلايا في كائنات مختلفة.

إنَّ تطبيق تلك النظرة على الأشكال البيولوجية القديمة يؤكِّدُ تمامًا درجة الإثارة التي اكتنفها الانفجار الكامبري، فقد اِشتَمَل العالم الحي على مدار ٣ مليارات عام على الكائنات وحيدة الخلية كالبكتريا والطحالب وما يفوقها بقليل[١٢]، لكن بعد ذلك -أي بدءًا من العصر الإيديكاري المتأخر حوالي ٥٥٥-٥٧٠ مليون سنة- ظهرت أولى الكائنات المعقدة متعددة الخلايا في الطبقات الصخرية، مُشتملة على الإسفنجيات والكائنات الحيَّة الخاصة بالعصر الإيديكاري، التي تمَّت مناقشتها في الفصل الرابع[١٣]، وهذا يُمثِّلُ ازديادًا كبيرًا في التعقيد. أشارَت

الدراسات على الحيوانات الحديثة أنَّ الإسفنجيات التي ظهرت في العصور ما قبل الكامبري المتأخرة مثلًا قد احتاجت ربَّما لحوالي عشرة أنواع من الخلايا.[١٤]

بعد ٤٠ مليون عامٍ حدث الانفجار الكامبري[١٥]، وامتلأت المحيطات فجأة بحيوانات مثل ثلاثيات الفصوص والقريدس الشاذ anomalocaridids، التي ربما تتطلَّب خمسين نوعًا أو أكثر من الخلايا، وهو ما يُعادلُ قفزة أكبر في التعقيد. علاوة على ذلك، وكما يَذكرُ فالنتاين، فإنَّ قياس اختلافات التعقيد بواسطة قياس اختلاف عدد أنواع الخلايا ربما "قلَّل بصورة كبيرة من شأن الفوارق التعقيدية بين الهيئات الجسدية البنيوية".[١٦]

هناك طريقة واحدة لقياس كمية المعلومات الوراثية الجديدة التي ظَهَرَت مع الحيوانات الكامبرية، وهي قياس حجم الجينوم في النماذج المعاصرة من المجموعات الكامبرية، ومقارنته بكم المعلومات الموجود في أشكال حيَّة أبسط. قدَّر علماءُ الأحياء الجزيئية حاجة الكائن وحيد الخلية –ذي الحد الأدنى من التعقيد– إلى ما بين ٣١٨ ألف و٥٦٢ ألف زوج أساس من الحمض النووي لإنتاج البروتينات اللازمة لبقاء الحياة[١٧]، ويُمكنُ أن تَحتاجَ وحيدات الخلية الأكثر تعقيدًا إلى حوالي مليون زوج أساس من الحمض النووي، لكن لا يَزال تجميع البروتينات الضرورية لإبقاء كائن مفصلي الأرجل معقَّد كثلاثيات الفصوص بحاجة إلى أضعاف مضاعفة من التعليمات المشفرة للبروتينات. لأجل المقارنة بمثال؛ يبلغ مجموع الجينات في مفصلي أرجل معاصر كـ(ذبابة الفاكهة سوداء البطن Drosophila melanogaster) حوالي ١٤٠ مليون زوج أساس[١٨]، لذا فإنَّ التحولات من خلية واحدة إلى مستعمرات من الخلايا إلى حيوانات معقدة يُمثلُ تزايدًا مهمًا في المعلومات الوراثية، وهو قابلٌ للقياس مبدئيًا.

لقد حصل أثناء العصر الكامبري مهرجان حقيقي من الأشكال الأحيائية الجديدة، لكن نظرًا لحاجة الشكل الأحيائي الجديد لأنواع من الخلايا والبروتينات والمعلومات الوراثية الجديدة فإنَّ الانفجار الكامبري للحياة الحيوانية أحدث أيضًا انفجارًا فريدًا للمعلومات الوراثية غير مسبوق في تاريخ الحياة.[١٩] سنرى في الفصل الرابع عشر أنَّ بناء مخطَّط جسدي حيواني جديد يَتَطلَّب أيضًا نوعًا آخر من المعلومات غير المخزنة في الجينات، وهي التي تُسمَّى بالمعلومات ما فوق الجينية epigenetic information.

لذلك؛ هل تستطيع آلية الداروينية الجديدة تفسير الزيادة المثيرة في المعلومات الوراثية التي ظهَرت في الانفجار الكامبري؟ سيُساعدنا قبل تناول هذا السؤال تعريف مفهوم المعلومات، وتحديد نوع المعلومات التي يَحتويها الحمض النووي.

المعلومات الأحيائية: نمط شانون، أم شيء آخر؟

يُعرِّفُ العلماءُ عادةً نوعين أساسيين على الأقل من المعلومات: معلومات وظيفية –أو هادفة–، ومعلومات ليست وظيفية بالضرورة؛ وهي التي تُعرف بمعلومات شانون Shannon information، وقد ظَهرَ الاختلاف جزئيًّا بسبب التقدُّم في أحد فروع الرياضيات التطبيقية، والمعروف بنظرية المعلومات، حيث أنشأ عالمُ الرياضيات كلود شانون Claude Shannon –وهو يَعملُ في مختبرات بيل– أواخر الأربعينيات نظرية رياضية للمعلومات، وازن بين كمية المعلومات المنقولة بواسطة سلسلة من الرموز أو الحروف مع كم عدم التعيين المُختزل أو المُزال بواسطة انتقال تلك السلسلة.[٢٠]

اِعتَقَدَ شانون أنَّ حدثًا ما أو انتقال المعلومات إن لم يزل كثيرًا من عدم التعيين فلن يكون ذا أهمية معلوماتية أيضًا. للإيضاح، إذا قال أحدُهم جملة بداهية تمامًا فإنَّنا نقول له: "أخبرنا شيئًا آخر لا نَعرفه"، تخيّل أنَّ أحدًا من رفاقي في فريق البيسبول عندما كنت مراهقًا في السبعينيات أسرع إليّ وهو يَلهثُ يُخبرني بأنَّ نجم فريقنا في رمي الكرة يخطِّطُ ليرمي الكرة للماسك في المباراة القادمة، سوف تستجلب تلك الجملة الرد الهازئ "أخبرني شيئًا آخر لا أعرفه".

وَضَّحَت الجملةُ البديهية حول قصد رامي الكرة السبب الذي جعل شانون يُساوي بين إزالة الغموض وانتقال المعلومات، وبما أنَّ نجوم رمي الكرة الذين يُريدون أن يصبحوا نجومًا في رمى الكرة لا يَملكون خيارًا إلا رميها إلى الماسك متجاوزة المضرب، فإنَّ جملةَ صديقي الملهوف لم تُزل أي غموض سابق، لذا فإنَّها ليست ذات أهمية معلوماتية على الأقل. من ناحية أخرى، لو أتى صديقي مسرعًا بعد أيام من التكهنات في الحرم الجامعي حول أي واحد سيختار المدرب من بين الأربعة الرامين للكرة في فريقنا ليلعب في مباراة البطولة، وكشف عن شخصية الرامي الذي سيبدأ، فذلك سيكون مختلفًا، لأنَّه سوف يزيل بعض الغموض بالنسبة لي -دون شك- بواسطة جملة ذات أهمية معلوماتية.

حدَّدَت نظرية شانون كمّ الاتصال البداهي بين نقص الغموض والمعلومات، من خلال التأكيد على أنَّه كلَّما زادت إزالة الغموض بحدث أو بانتقال للمعلومات زادت المعلومات المنقولة. تخيَّل أنَّ صديقي بعد الكشف لي عن شخصية الرامي الأول في بطولة البيسبول في الربيع أنَّه أفصح لي أيضًا بعد ذلك عن شخصية اللاعب الرئيسي الأول قبل موسم كرة القدم الأمريكية القادم. تصوَّر الآن أنَّ فريقنا للبيسبول فيه أربعة رماة متساوو الكفاءة، وأنَّ فريق كرة القدم لديه فقط لاعبان

رئيسيان متساويان في الكفاءة. وفقًا لتلك الحقائق فإنَّ إخبار صديقي لي عن هوية الرامي الأول أزال لدي غموضًا أكثر من الإفصاح عن هوية اللاعب الرئيسي في كرة القدم الأمريكية الذي سيبدأ.

لتعيين القياسات الكمية الدقيقة للمعلومات، ربط شانون من ناحية أخرى قلَّة الغموض والمعلومات بالقياسات الكمية الاحتمالية –أو غير الاحتمالية–. لاحظ في مثالي أنَّ زيادة التواصل المعلوماتي قلَّلت من الغموض، وتمكَّنت من وصف حدث بعيد الاحتمال. إنَّ احتمالية وقوع الاختيار على أي من الرماة الأربع للكرة كانت ١ من ٤، واحتمالية وقوع الاختيار على أحد اللاعبَين الرئيسيَين في كرة القدم (وبنفس الافتراض) كانت فقط ١ من ٢. فالحدث غير المرجح بصورة أكبر أزال احتمالات أكثر وغموضًا أكثر، بالتالي نقلَ معلومات أكثر.

طبَّق شانون تلك البداهيات ليحدِّد كمية المعلومات الموجودة في سلاسل من الرموز والحروف المخزنة على هيئة نصوص أو شيفرات، أو المنقولة عبر قنوات انتقال المعلومات. ووفقًا لنظريته يكون وجود حرف إنجليزي في سلسلة من الحروف الأخرى المماثلة ناقلًا للمعلومات أكثر مما يفعل رقم ثنائي وحيد –صفر أو واحد– موجود في جزء من شفرة الحاسوب. لكن لماذا؟ مرة أخرى نقول أنَّ الحرف الأبجدي في اللغة الإنجليزية يقلِّلُ الغموض فيما بين ستة وعشرين احتمالًا، في حين أنَّ الرقم الثنائي الوحيد يقلِّل الغموض فيما بين اثنين فقط، فاحتمالية أي حرف واحد من الحروف الأبجدية الإنجليزية ليكون في هذا الموضع من سلسلة حروف أخرى مماثلة (بغض النظر عن الاحتياج للمسافات وعلامات الترقيم) هي ١ من ٢٦، أمَّا احتمالية الصفر أو الواحد في سلسلة من الحروف الثنائية هي ١ من

٢؛ لذا فإنَّ وجود حرف في مكان ما من السلسلة يَكونُ أقل احتمالًا –في نظرية شانون–، ولهذا يُخبرُ بمعلومات أكثر.

مع ذلك فإنَّ الترقيم الثنائي –طبقًا لنظرية شانون– قادر على نَقل كمية غير محدودة من المعلومات، بسبب نقل المزيد من المعلومات عن طريق تَضاعف اللا–احتمالات. تخيَّل حقيبة بها حجارة محفور عليها إمَّا صفر أو واحد، وتصوَّر أنَّ أحدًا قام بعمل سلسلة من الأصفار والواحدات بسحب الحجارة من الحقيبة بالتتالي، ووضعها على طاولة اللعب، هنا نَجِدُ أنَّ احتمالية اختيار الصفر في أول سحب هي ١ من ٢ فقط، لكن احتمالية اختيار الصفر مرتين متتاليتين بعد إرجاع الأولى إلى الحقيبة وخلط الأحجار هي فرصة واحدة من (2x2) أو ١ من ٤ وذلك لوجود أربعة مجموعات محتملة من الأرقام يُمكنُ اختيارها وهي: ٠٠ أو ٠١ أو ١٠ أو ١١. وبالمثل، فإنَّ احتمالية الحصول على سلسلة مكوَّنة من ثلاثة حروف كنتيجة للاختيار المتتالي بهذه الطريقة هي ١ من (2x2x2)، أو ١ من ٢^{٣} (أو ١ من ٨). بالتالي نَجدُ أنَّ لا–احتمالية أي سلسلة خاصة من الحروف تَزداد أضعافًا مضاعفة مع عدد الحروف في السلسلة، وتستطيع السلاسل الأطول حملَ كمية أكبر من المعلومات، حتى لو تمَّ ذلك باستخدام نظام ترميز ثنائي.

قاس علماء المعلومات تلك الزيادات المعلوماتية بواسطة وحدة أطلقوا عليها بت (bit)، وتُمثّلُ البت الكمّ الأدنى للمعلومات التي يُمكنُ أن تُنقل –أو تزيل الغموض– بواسطة رقم وحيد في نظام ترميز ثنائي.[٢١]

كما يَستطيعُ علماءُ الأحياء –دون تردد– تَطبيق النظرية المعلوماتية لشانون من أجل قياس كمية معلومات شانون في سلسلة من أُسس الحمض النووي أو

سلسلة من الأحماض الأمينية في بروتين– بواسطة تقدير احتمالية السلسلة الحادثة، وتَحويلها بعد ذلك لقياس معلوماتي بوحدات البت.[٢٢] ينقل الحمض النووي المعلومات حسب فَهم شانون في صورة تسلسلات طويلة مرتبة بعيدة الاحتمال من أربعة مواد كيميائية، هي الأسس الأربعة التي فتنت واطسون وكريك بجمالها، وهي الأدنين adenine والثيمين thymine والغوانين guanine والسيتوزين cytosine (A,C,G,T). أدرَكَ كريك في صياغته لفرضية التسلسل أنَّ تلك القواعد النكليوتيدية تَعملُ كحروف أبجدية أو حروف رقميَّة في نسق خطِّي، وبما أنَّ كل واحدة من تلك القواعد الأربعة لديها فرصة واحدة من كل أربع فرص لتتواجد في كل موقع من المواقع على طول هيكل جزيء الحمض النووي فإنَّ في مقدور علماء الأحياء حساب تلك الاحتمالية لأي تسلسل معين طوله ن أساس، وحساب معلومات شانون له –أو ما يُطلق عليه تقنيًا (سعة حمل المعلومات)–. على سبيل المثال، تَكون لأيّة سلسلة معينة مكونة من ثلاثة أسس احتمالية واحدة من (4x4x4)، أو فرصة واحدة من ٦٤ فرصة لتظهر، وهو ما يوافق ٦ بت من معلومات شانون –يحمل كل أساس في سلسلة الحمض النووي في الحقيقة ٢ بت من المعلومات، لأنَّ فرصة من ٤ تساوي فرصة من 2x2–.

مع ذلك فانَّ تطبيق النظرية المعلوماتية لشانون على علم الأحياء الجزيئية حَجبَ –إلى درجة ما– الفرق الرئيسي بخصوص نوع المعلومات التي يَمتلكُها الحمض النووي، فبالرغم من أنَّ نظرية شانون قاسَت كمّ المعلومات في سلسلة من الرموز والحروف –أو العناصر الكيميائية التي تَعملُ على هذا النحو–، إلا أنَّها لم تُميز سلسلة وظيفية أو ذات معنى من أخرى غامضة ليست ذات فائدة. على سبيل المثال:

"نحن نوافق على أنَّ تلك الحقائق بديهيات"

"قمبنفقليسكغهيفمينلتهرمسبرنبتخلتبيسية".

هاتان السلسلتان متساويتان في الطول، وكذلك في اللا-احتمالية، فلو تصوَّرنا أنَّهما قد كتبتا بعشوائية فإنَّ كلًا منهما يحتوي نفس الكمية من معلومات شانون، لكن هنالك فارق كيفي واضح بينهما، وهو ما لم يتطرق إليه مقياس شانون؛ حيث تؤدِّي السلسلة الأولى (ذات المعنى) وظيفة ناقلة للمعلومات، في حين أنَّ الأخرى لا تفعل ذلك.

أكَّد شانون أنَّ نوع المعلومات التي وصفتها نظريته يَحتاجُ ليكون مميَّزًا بعناية عن فكرتنا الشائعة عن المعلومات، وقد أوضح وارين ويفر Warren Weaver (أحد المساعدين المقربين لشانون) في عام ١٩٤٩ أنَّ: "كلمة معلومات في تلك النظرية تستخدم بمغزى رياضي خاص، ويَجبُ ألا يلتبس هذا المغزى مع استعمالها المعتاد".[٢٣] وكان يَقصدُ بالاستعمال المعتاد بالطبع فكرة انتقال المعلومات ذات المعنى أو الوظيفة.

عرَّف قاموس (ويبستر) المعلومة بأنَّها "نقل المعرفة أو الفهم أو استقبالهما"، وعرَّف أيضًا المعلومة على أنَّها "السمة المتأصلة في سلاسل أو تراتيب متغيرة من شيء ما، بما يؤدِّي لتأثير خاص". قد تنقل سلسلة من الحروف التي تمتلك كمًّا كبيرًا من معلومات شانون معنى -مثل نص باللغة الإنجليزية-، أو تؤدِّي وظيفة "تُحقق تأثيرًا خاصًا"؛ كما تفعل كل من الجمل الإنجليزية وشيفرات الكمبيوتر على سبيل المثال، أو أنَّها قد لا تَفعلُ ذلك -كما سيحدث في حالة ركام من الحروف لا معنى له، أو شاشة من شيفرات الكمبيوتر المتدافعة-. على أي حال، لم تُميز

نظرية شانون للمعلومات –الرياضية البحتة– وجود سلاسل ذات معنى أو وظيفة من تلك السلاسل التي هي بعيدة الاحتمال فقط لكنَّها غير ذات معنى، فالنظرية تُعطي فقط قياسًا رياضيًّا للا–احتمالية –أو سعة حمل المعلومات– لسلسلة من الحروف، أي أنَّها تُعطي قياسًا لسعة سلسلة ما على حمل معلومات وظيفية أو ذات معنى، ولا تَقوم –ولا تستطيع– أن تحِّدَد فيما إن كان التسلسل المدروس يَحملُ أي معنى أم لا، أو أن له تأثيرًا وظيفيًا هامًا.

تَمتلكُ سلاسل الحمض النووي سعة لحمل المعلومات، وهو ما تَستطيعُ نظرية شانون قياسه[٢٤]، لكن الحمض النووي –مثل اللغات الطبيعية وشفرات الكمبيوتر– يَحتوي أيضًا على معلومات وظيفية.[٢٥] ففي لغات مثل الإنجليزية تَنقل الحروف المرتبة بشكلٍ محدد المعلومات الوظيفية للأشخاص المدركين، في حين تؤدِّي المحارف المرتبة بشكلٍ محدد –والمميزة بأرقام صفر وواحد– في شيفرة الحاسوب أو الآلة لنتائج وظيفية مهمة ضمن البيئة الحاسوبية، دون استقبال شخص واع لمعنى الشفرة من داخل الآلة، وبنفس الطريقة يخزن الحمض النووي وينقل المعلومات الوظيفية لبناء بروتينات أو جزيئات الحمض النووي الريبوزي RNA، حتى ولو لم يَستقبلها شخص واع. كما في شفرة الكمبيوتر فإنَّ الترتيب الدقيق للحروف –أو العناصر الكيميائية التي تَعملُ كحروف– تَسمحُ للسلسلة "بإنتاج تأثير خاص"، لهذا السبب أحببت أيضًا استخدام مصطلح المعلومة الخاصة كمرادف للمعلومة الوظيفية، لأنَّ وظيفة سلسلة من الحروف تعتمد على ترتيب خاص لتلك الحروف.

يحتوي الحمض النووي على معلومات نوعية، ليست فقط معلومات شانون، أو سعة حمل المعلومات، بل كما قال كريك نفسه في ١٩٥٨: "عَنيت بالمعلومات

تخصيص سلسلة الأحماض الأمينية في البروتين... تَعني المعلومة هنا التحديد الدقيق للتسلسل، سواء كانت من الأسس في الحمض النووي، أو من ثمالات الحموض الأمينية في البروتين".[٢٦]

الرسالة كاللغز

لذلك، إن احتاج أصل الحيوانات الكامبرية لكميات ضخمة من المعلومات الجديدة الوظيفية أو النوعية، فما الشيء الذي قامَ بهذا الانفجار المعلوماتي؟ ونظرًا لأنَّ الثورة في علم الأحياء الجزيئية تُسلِّطُ الضوء أولًا على أولوية المعلومات لحفظ الأنظمة الحيَّة ووظيفتها، فإنَّ الأسئلة حول أصل المعلومات قد انتقلت إلى صدارة المناقشات حول نظرية التطوُّر. وأكثر من ذلك، فقد طرحَ إدراك أن نوعية التسلسل –بدلًا من مجرد اللا–احتمالية– التي تُميز النصّ الجيني قد طرحَ بعض الأسئلة الصعبة حول كفاءة آليات الداروينية الجديدة، فهل من المعقول أن نظنَّ بأنَّ الانتقاء الطبيعي –الذي يَعملُ على الطفرات العشوائية في الحمض النووي– قادر على إنتاج تلك الترتيبات عالية النوعية –من الأسس الضرورية– لتكوين الوحدات البنيوية البروتينية الموجودة في الأنواع الجديدة من الخلايا والأشكال الجديدة من الحياة؟ ربَّما لا مفر من أن تشكل تلك الأسئلة أكثر من مجرد تحدٍ للنظرية الداروينية الجديدة في مناقشات الانفجار الكامبري.

الفصل التاسع

التضخم التوافقي

Combinatorial Inflation

التضخم التوافقي
Combinatorial Inflation

كان مارّي إيدن Murray Eden (الصورة ٩-١) بروفيسورًا في الهندسة وعلوم الحاسب في معهد MIT، وكان معتادًا على التفكير في كيفية بناء الأشياء، لكن عندما بدأ النظر في أهمية المعلومات في تركيب الكائنات الحيَّة أدركَ شيئًا غير منطقيّ. قال مُنتقدوه أنَّه تَمتَّع بقدرٍ من المعرفة بالبيولوجيا يَكفي ليجعل منه خطرًا. وبمراجعة ماضيه، ربَّما كانوا على حق.

خلال فترة أوائل ستينيّات القرن الماضي، مع برهنة مُختصِّي البيولوجيا الجزيئية فرضية التسلسلات الشهيرة لفرانسيس كريك، بدأ إدين يُفكِّرُ بتحدي بناء الكائن الحي. بالطبع لم يَكُن (إيدن) يأمل بناء كائن حيّ بنفسه، لكنَّه كان يفكِّر فيما إذا كان بإمكان آلية الداروينية الحديثة –ممثلة بالانتقاء الطبيعي الذي يَعملُ على الطفرات العشوائية– أن تقوم بالمهمة، وتَساءل إن كان بمقدور الطفرات والانتقاء توليد المعلومات الوظيفية المطلوبة.

بهذا الأسلوب في التفكير، كانت النوعية جزءًا كبيرًا من المشكلة، فواضح أنَّ الـDNA إن كان يحتوي على تسلسل غير مُحتمل من الأسس النكليوتيدية وترتيبها، بلا أهمية لوظيفة الجزيء، عندها ستكون التغيّرات العشوائية بالطفرات في تتالي الأسس غير ذات أثر مؤذٍ على وظيفة الجزيء، لكن للتتالي بالطبع أثر في الوظيفة.

عَلِم إدين أنَّ التغيرات العشوائية في التتالي تؤدِّي لتخرّب دائم في الوظيفة أو المعنى، واستنبط ذلك بالقياس على ما يَحدثُ في شيفرات البرامج الحاسوبية أو

النصوص المكتوبة التي تكون فيها نوعية التتالي محدّدة للوظيفة. قال: "لا يوجد حاليًا (لغة شكلية Formal language) يُمكنها تَحمّل التغيّرات العشوائية في تتاليات الرموز التي تعبر عن جملها، بل سيتخرّب المعنى دائمًا في الغالب". لذلك اشتبه بأنَّ الحاجة للنوعية في ترتيب أسس الDNA جَعلَت من البعيد جدًا أن تولد الطفرات العشوائية جينات أو بروتينات وظيفية جديدة بدلًا من تخريبها.

لكن إلى أي قدرٍ هي بعيدة الاحتمال؟ كم سيكون صعبًا أن تولّد الطفرات العشوائية بالصدفة تلك التتاليات الوظيفية ذات المغزى الجيني والمطلوبة لتزويد الانتقاء الطبيعي بالمادة الخام –أي المعلومات والتنوعات الجينية– المطلوبة لإنتاج البروتينات والأعضاء والأشكال الجديدة من الحياة؟ لم يكُن إدين الرياضيَّ الوحيد أو حتى العالم الوحيد الذي يَطرحُ هذه الأسئلة، لكن التحدِّي المبني رياضيًّا ضد النظرية التطوّرية، والذي ساعد هو بتأسيسه، سيثبت بالتأكيد خطره على معتقد الداروينية الحديثة.

مؤتمر معهد ويستار

خلال أوائل الستينيّات، بدأ إدين مع العديد من الزملاء في MIT –في فروع الحساب والفيزياء وعلم الحاسب– بمناقشة مصدوقية النظرية الداروينية الجديدة في التطوّر، ومع نمو النقاش ليتضمن الرياضيين والعلماء من معاهد أخرى، نشأت فكرة المؤتمر. في عام ١٩٦٦، عَقَدَت مجموعة بارزة من الرياضيين والمهندسين والعلماء مؤتمرًا في معهد ويستار –في فيلاديلفيا–، وأُطلقَ عليه اسم (التحديات الرياضية للتطوُّر وفق مفهوم الداروينية الحديثة). كان من أبرز الحاضرين Marcel-Pau Schützenberger –الرياضي والطبيب من جامعة باريس–، و Stanislaw

Ulam –المصمِّم المساعد للقنبلة الهيدروجينية–، وإدين بذاته، وضمَّ المؤتمر أيضًا عددًا من البيولوجيين البارزين من أمثال Ernst Mayr –مصمِّم الداروينية الحديثة–، وRichard Lewontin –الذي كان في ذلك الحين بروفيسورًا في علم الجينات والبيولوجيا التطورية في جامعة شيكاغو–.



شكل (٩–١): موراي إدين. بإذن من متحف MIT.

ترأس المؤتمر السيد Peter Medawar الحائز على جائزة نوبل، ومدير مختبرات مجلس البحث الطبي في شمال لندن. قال في كلمته الافتتاحية: "إنَّ السبب المباشر لهذا المؤتمر هو الإحساس المنتشر جدًا بعدم الرضى عمَّا يُعتبرُ الآن في العالم المتحدث بالإنكليزية أنَّه نظرية التطوُّر المقبولة، وهو ما يُسمَّى بنظرية الداروينية الحديثة".[٢]

يَعتبرُ الكثيرون أنَّ الشكوك التي تَدورُ حول القوة الخلاقة للطفرة والانتقاء تنبع من تفسير طبيعة المعلومات الجينية من قبل مختصِّي البيولوجيا الجزيئية في نهاية الخمسينيّات وبداية الستينيّات.

في البداية، كان اكتشاف طريقة تَخزين المعلومات الجينية في ال(DNA) – أي على شكل مصفوفة خطِّية من أسس النوكليوتيد المتتالية بدقَّة– مساعدًا في توضيح طبيعة كثير من العمليات الطفروية. وكما أنَّ تتالي الحروف في النصِّ الإنكليزي قد يتبدّل بتغيير حروف مفردة –واحدًا تلو الآخر–، أو بجمع مقاطع كاملة من النصّ وإعادة ترتيبها، فكذلك يَكون الأمر في النصّ الجيني الذي يتبدّل إمَّا بتغيير أساس واحد في كل مرة أو بجمع وإعادة ترتيب مقاطع من الجينات بأساليب مختلفة عشوائيّا. في الواقع، لقد أثبت علم الجينات الحديث وجود آليات متنوعة من التغير الطفروي، فلم تَعُد الطفرة هي (الطفرات النقطية point mutations) فقط، أو التغيرات في أسس فردية فقط، بل دَخلَ في مفهومها أيضًا التضاعف duplication، والغرز insertion، والانقلاب inversion، والتأشيب recombination، والحذف deletion لمقاطع كاملة من النص الجيني.

ورغم إحاطة إدين بهذا المجال ومعرفته بوجود الكثير من الخيارات الطفروية التي يُمكنُ للطبيعة أن تلعبها، إلا أنَّه جَادلَ في (ويستار) بأنَ مثل هذه التغيرات العشوائية في النصوص أو المقاطع المكتوبة من الشيفرة الرقمية ستؤدِّي حتمًا لتخرّب وظيفة التتاليات الحاملة للمعلومات، خاصة عندما يُسمح لها بالتراكم.[3] فمثلًا ستتخرّب العبارة البسيطة "One if by land and two if by sea" بقدرٍ كبير إن طرأ عليها مجموعة من التغيّرات العشوائية فقط مثل: " Ine if bg lend and two ik bT Nea".

كان الرياضي الفرنسي Schützenberger قد شَارَكَ إدين قَلقه في المؤتمر حول أثر التغيّرات العشوائية، وأشار إلى أنَّه في حال قام شخصٌ ما ببضعة تغييرات عشوائية فقط في ترتيب الرموز الرقمية في برنامج حاسوبي "فلن نُصادفَ أي فرصة –أي أقل من ١\ $١٠^{١٠٠٠}$– لرؤية ما الذي يحسبه البرنامج المعدل، لن يكون الناتج إلا عطلًا".[4] وجادل إدين بأنَّ ذات المشكلة تَنطبقُ أيضًا على الDNA، لأنَّ الترتيب النوعي لأسس الDNA يَعملُ إلى حدٍ ما مثل الشيفرة الرقمية، ومن المُحتمل أنَّ التغييرات العشوائية في هذه الترتيبات ستطمس وظيفتها، بينما سَتَبوء بالفشل كل محاولات توليد مقاطع جديدة كليًّا من النصّ الجيني بوسائل عشوائية.[5]

يُكمنُ تفسير هذا التناقص الحتمي في الوظيفة في فرع من الرياضيات يُسمَّى الرياضيات التوافقية –أو التجميعات التصنيفية combinatorics–، ويَدرسُ هذا العلم عدد الطرق التي يُمكنُ لمجموعة من الأشياء أن تتجمع أو ترتب بها. أحيانًا يكون مقتضى هذا الفرع بَدَهَيًّا للغاية، فإن صادف لصٌ عند زاوية أحد الأبنية مسندًا للدراجات الهوائية بعد ساعات من البحث عن دراجة ليسرقها، وأراد الحصول على غنيمة سهلة، فإنَّه سيبحث عن أسهل قفل. فإن وجد دراجتين، الأولى مقفولة بقفل رقمي ذي ثلاثة خانات –يُمكنُ اختيار رقم من عشرة في كل خانة–، والأخرى بقفل ذي خمسة أعداد –مع عشرة أرقام لكل منها–، فليس على اللصِّ أن يكون عالمًا رفيع الدرجة ليُدركَ أي القفلين أسهل في الفتح. فهو يَعلمُ أنَّه يَحتاجُ لمحاولات أقل مع القفل ذي الأرقام الثلاثة.

يَدعمُ الحساب المباشر افتراض هذا اللص، إذ يَمتلكُ القفل الأبسط فقط [١٠ × ١٠ × ١٠ = ١٠٠٠] توليفة ممكنة من الأرقام –أو احتمالًا توافقيًا combinatorial كما يَدعوه علماءُ الرياضيّات، في حين يَمتلِكُ القفل ذو الأرقام

الخمسة [١٠ × ١٠ × ١٠ × ١٠ × ١٠ = ١٠٠٠٠٠] احتمالًا توافقيًا. قد يَتَّبِعُ اللص بكثير من الصبر طريقة منهجية ليجرب توليفات مختلفة من الأرقام في القفل الأبسط، لأنَّه يَعرف بأنَّه سيصادف التوليفة الصحيحة عند نقطة ما، لكن ليس عليه حتى أن يُشغِل تفكيره بالقفل ذي الأرقام الخمسة، لأن تجريب جميع الاحتمالات سيحتاج قدرًا من الوقت أكبر بـ١٠٠ مرة، إذ يَمتلكُ القفل الخماسي ببساطة عددًا كبيرًا من الاحتمالات يَجعلُ من المستبعد أن يَحظى اللصُّ بالفرصة المناسبة لفتحه بالتجربة والخطأ خلال الزمن المتاح له.

ذكرَ العديدُ من علماء ويستار أنَّ الطفرة وآلية الانتقاء تواجهان مشكلة مشابهة، إذ تتخيَّل الداروينية الحديثة وجود معلومات جينية جديدة تنشأ من طفرات عشوائية في الDNA، وفي حال وقعت الطفرة الصحيحة أو تراكمت توليفة مناسبة من تلك الطفرات في الDNA في أي لحظة من الولادة حتى التكاثر –ضمن الخلايا المسؤولة عن التكاثر سواء كان جنسيًا أو لا جنسيًا–، عندها ستَعْبُر المعلومات المسؤولة عن بناء بروتين أو بروتينات جديدة إلى الجيل التالي، وإذا صادف أنّ هذا البروتين الجديد يَحملُ ميزةً لبقاء الكائن الحي، فسيَميلُ عندها التغيُّر الجيني المسؤول عن البروتين الجديد للمرور للأجيال اللاحقة، ومع تراكم الطفرات المفضلة ستتبدل ملامح الجمهرة تدريجيًّا مع الزمن.

من الواضح أنَّ الانتقاء الطبيعي يَلعبُ دورًا هامًا في هذه العملية، حيث أنَّه سيمرِّر الطفرات المفضلة ويحذف الطفرات غير المفضلة. لكن هذه العملية قادرة فقط على انتقاء الاختلافات في النص الجيني التي أنتجتها الطفرات أولًا، لهذا السبب يُدركُ الباحثون في البيولوجيا التطوّرية أنَّ الطفرة عادة –وليس الانتقاء الطبيعي– هي من توفِّر مصدر التنوع والابتكار في العملية التطوّرية، وهو ما بيّنه

الخبيران في البيولوجيا التطوّرية Jack King وThomas Jukes عام ١٩٦٩ بقولهما: "الانتقاء الطبيعي هو محرّر الرسالة الجينية وليس مؤلفها".[٦]

وكانت هذه مشكلة، كما رآها المجتمعون في ويستار والمشكِّكون بالنظرية، فيَجبُ أن تقوم الطفرات العشوائية بمهمة تأليف معلومات جينية جديدة، لكن العدد الكلي من توليفات الأسس النكليوتيدية أو الأحماض الأمينية المُمكنة –أي حجم (الفضاء) التوافقي– المرافق لجين مفرد أو بروتين –حتى ولو بطول بسيط– جَعلَ من احتمالية التجميع العشوائي أمرًا ضئيلًا. مقابل كل سلسلة أحماض أمينية مولدة لبروتين وظيفي، هنالك عدد هائل من التوليفات الأخرى التي لا تُحقِّقُ هذا. مع نمو طول البروتين المطلوب، يَزدادُ عدد توليفات الأحماض الأمينية الممكنة أسّيًّا. ومع حدوث هذا، يَنخفضُ احتمال مصادفة الطفرة العشوائية لتتالي وظيفي بشكلٍ سريع.

إليك مثالًا آخر، يُمكنُ مثلًا جمع الحرفين X وY ضمن أربع توليفات مكوّنة من حرفين (XX، XY، YX وYY)، ويمكنُ جمعهما ضمن ثمان طرق مُختلفة في حال استعمال توليفات ثلاثية الحروف (XXX، XXY، XYY، XYX، YXX، YXY، YYY)، وست عشرة طريقة للتوليفات المؤلفة من أربعة حروف، وهكذا يَنمو عدد التوليفات الممكنة أسّيًّا –٢ ^{٢}، ٢ ^{٣}، ٢ ^{٤}... وهكذا– مع ازدياد عدد الحروف في التتالي. يَصِفُ الباحثُ الرياضي ديفيد بيرلنسكي هذا (التضخّم التوافقي combinatorial inflation) بأنّه مشكل؛ لأنَّ عدد التوافقات الممكنة يتضخّم دراماتيكيًّا مع تزايد عدد الحروف في التتالي.(الشكل ٩–٢)

تَخضعُ توليفات أسس الDNA لتضخّم توافقي من هذا النوع، حيث تتألف التتاليات الحاملة للمعلومات في الDNA من ترتيبات نوعية من الأسس النكليوتيدية

الأربعة. بالتالي فإنَّ هنالك أربعة أسس ممكنة يُمكن تواجدها في كل موقع على طول سلسلة الـDNA، و($٤ \times ٤ = ٤^{٢} = ١٦$) تتاليًا محتملًا ثنائي الأساس [AA AT AG AC TA TG TC TT CG CT CC CA GA GG GC GT]. وبالمثل، هنالك ($٤ \times ٤ \times ٤ = ٤^{٣} = ٦٤$) تتاليًا محتملًا ثلاثي الأسس –لن أكتبها جميعها هنا–. أي أنَّ زيادة عدد الأسس في تتالٍ من ١ إلى ٢ إلى ٣ يزيد عدد الاحتمالات من ٤ إلى ١٦ إلى ٦٤، ومع استمرار نمو طول التتالي يتضخّم أسّيًا عدد الاحتمالات التوافقية للتتاليات متزايدة الطول. مثلًا هنالك ($٤^{١٠٠}$ أو ما يُعادلُ $١٠^{٦٠}$) من الطرق الممكن لترتيب مئة أساس بصف واحد.

شكل (٩–٢): مشكلة التضخّم التوافقي موضّحة بأقفال درّاجة ذات مقاسات مختلفة. ومع زيادة عدد الأرقام في أقفال الدراجات، يزداد عدد التوليفات الممكنة أسّيًّا.

تَخضعُ سلاسل الأحماض الأمينية لمثل هذا التضخّم، ويُمكنُ لسلسلة من حمضين أمينيين أن تُبدي ($٢٠^{٢}$ = ٢٠ × ٢٠ = ٤٠٠) توليفة مُمكنة، لإمكانية أن يتجمع أحد الأحماض الأمينية العشرين –التي تَدخل في تركيب البروتينات– مع عنصر أخر من ذات المجموعة العشرينية في الموقع الثاني من سلسلة الببتيد القصيرة. وفي حالة وجود تتال من ثلاثة أحماض أمينية، فإنَّنا نَبحثُ عندها عن ($٢٠^{٣}$ = ٨٠٠٠) تتالٍ ممكن، ومع أربعة أحماض أمينية، يَرتفعُ عدد التوليفات أسّيًّا إلى ($٢٠^{٤}$ = ١٦٠٠٠٠) تتالٍ ممكن.. وهكذا.

الآن يَتفوّق عدد الاحتمالات التوافقية لسلسلة من أربعة أحماض أمينية فقط على الاحتمالات التوافقية المرافقة للقفل ذي الأرقام الخمسة المذكور في المثال الأول (١٦٠٠٠٠ مقابل ١٠٠٠٠٠). لكن يتبيّن أنَّ الكثير من البروتينات الوظيفية في الخليَّة تَحتاجُ لأكثر بكثير من مجرد أربعة أحماض أمينية متصلة بالتتالي، وكذلك تَحتاجُ الجينات الضرورية لأكثر –وأكثر بكثير– من مجرّد بضعة أسس، حيث تتألف معظم الجينات –مقاطع الDNA التي ترمّز لبروتين محدد– من ألف أساس نكليوتيدي على الأقل، وهذا يوافق $٤^{١٠٠٠}$ تتاليًا ممكنًا بهذا الطول من الأسس، وهو عددٌ ضخم لا يُمكنُ تخيّله.

فضلًا عن هذا، نَحتاجُ لثلاثة أسس في مجموعة تُسمَّى الرامزة (الكودون codon) لتمثيل واحد من الأحماض الأمينية العشرين المكوّنة للبروتين خلال اصطناع البروتين بسلسلة متنامية، وإن امتلكت جينةٌ طولًا وسطيًّا حوالي ١٠٠٠ أساس، عندها سيتكون بروتين متوسط بطول يَفوق ٣٠٠ حمض أميني، أو ثمالة

residue كما يُسمِّيه مُختصو كيمياء البروتينات. يقول الواقع أنَّ البروتينات تَحتاجُ نمطيًّا لمئات من الأحماض الأمينية لكي تؤدِّي مهامها، وهذا يَعني أنَّ بروتينا بطول وسطي يمثل تتاليًا محتملًا واحدًا فقط من عدد فلكي من تتاليات الأحماض الأمينية المُمكنة من هذا الطول [$٢٠^{٣٠٠}$ أو ما يفوق $١٠^{٣٩٠}$]. ولوضع هذه الأعداد بمنظور آخر، يَكفي أن نَعرفَ أنَّه لا يوجد سوى $١٠^{٦٥}$ ذرة في مجرة درب التبانة و$١٠^{٨٠}$ جسيمة أوليَّة في الكون المعلوم.

هذا ما أقلق إدين وغيره من العلماء الميّالين لعلم الرياضيّات في (ويستار)، حيث أنَّهم أدركوا ضخامة الفضاءات التوافقية المرافقة للجينات أو البروتينات متوسطة الطول –حتى لو واحدة منها فقط–، وأدركوا أنّ الطفرات إن كانت كما تَشترطُ الداروينية الحديثة عشوائيةً بذاتها حقًا –أي إن لم تكن موجّهة بحكمة أو متأثرة بحاجات وظيفية للكائن الحي– عندها تكون احتماليَّة أن تَنتجَ (الطفرة) و(آلية الانتقاء) جينًا أو بروتينًا جديدًا متناهية في الصغر. لماذا؟ لأنَّ على الطفرات عندها أن تولّد عددًا هائلًا من الاحتمالات –أو تبحث بالتجربة والخطأ– يَفوقُ بكثير ما هو منطقي في الزمن المتاح للعملية التطوّرية.

أشار إدين في عَرضه التقديمي في ويستار إلى أنَّ الفضاء التوافقي المرافق لبروتين متوسط الطول –والذي افترض أنَّه بطول حوالي ٢٥٠ حمضًا أمينيًا– يَبلغُ [$٢٠^{٢٥٠}$ = حوالي $١٠^{٣٢٥}$] ترتيبًا ممكنًا للأحماض الأمينية، لكن هل تَمتَلِكُ الطفرة وآلية الانتقاء الزمن الكافي –منذ بداية الكون بذاته– لتوليد ولو جزء ضئيل من العدد الكلي من تتاليات الأحماض الأمينية المُمكنة الموافقة لبروتين وظيفي مفرد بهذا الطول؟ كانت الإجابة بالنسبة لـ(إدين) هي النفي بكل تأكيد.

لهذا السبب اِعتَقَدَ إدين بأنَّ الطفرات لا تَمتلكُ عمليًّا الفرصة لإنتاج معلومات جينية جديدة، وقد مثّل احتمالية إنتاج الجينوم البشري بالاعتماد على الطفرات العشوائية باحتمالية توليد مكتبة من آلاف المجلّدات بإحداث تغييرات أو إضافات عشوائية في عبارة مفردة تبعًا للتعليمات التالية: "ابدأ بعبارة مفهومة، أعد كتابتها مع بعض الأخطاء، اجعلها أطول بإضافة حروف –عشوائيًّا–، أعد تنظيم التتاليات في تسلسل الحروف، اختبر بعدها النتيجة لرؤية إن كانت العبارة ذات مغزى، كرِّر هذه العملية حتى اكتمال المكتبة".[7] هل لمثل هذا التمرين أن يَحظى بفرصة منطقية للنجاح، حتى بمنحه مليارات السنين؟ لا يَعتقدُ إدين هذا.

فضلًا عن ذلك، أكّد Schützenberger على أنَّ القصَّ واللصق العشوائي للكتل الكبيرة في النصِّ –كما يَحلو لخبراء البيولوجيا التطوُّرية تصوُّر ذلك غالبًا–، لن يؤدِّي لتغيّر كبير في نجاعة بحث عشوائي ضمن فضاء التتاليات. تصوّر وجود حاسوب (يطفّر) عشوائيًّا نص مسرحية هاملت بإجراء استبدال لحروف مفردة، أو بمضاعفة مقاطع كاملة من أحد نصوص شكسبير أو مبادلته أو قلبه أو إعادة تجميعه. هل يُمكنُ لمثل هذا الحاسوب أن يَمتلكَ فرصة واقعية لتوليد نص مختلف كليًّا وله معنى بنفس مقدار ما في كتاب "صانع الساعات الأعمى لريتشارد دوكنز" من معنى، حتى ولو منحناه فرصة تكرار حدوث الطفرات غير الموجّهة لملايين متعددة من المرات؟

لا يَعتقدُ Schützenberger بهذا، وقد ذَكرَ بأنَّ إحداث تغييرات عشوائية في برنامج حاسوبي –في إملاء نصه البرمجي– سيخرّب حتميًا وظيفته، سواء أجريت هذه التغييرات "بالحروف أو بالكتل؛ فحجم الوحدة ليس مهمًا على الحقيقة".[8] لذلك فإنَّه يَعتقدُ أنَّ عملية خلط الكتل النصية عشوائيًّا في أي "نمط

مطبعي" ستخرّب حتمًا المعنى تمامًا كما تخرِّبه سلسلة من عمليات استبدال الحروف الفردية.

أصرَّ Schützenberger على أنَّ محددات مشابهة تواجه العملية التطوّرية، إذ يَبدو له من غير المحتمل نهائيًّا أن تؤدِّي الطفرات العشوائية –مهما كان نوعها– إلى إنتاج كميات معتبرة من المعلومات المبتكرة والمحددة وظيفيًّا ضمن الزمن المتوفِّر للعملية التطوّرية.

بعد إثبات نظرية التتالي لكريك، فَهِمَ جميع الحاضرين في (ويستار) أنَّ الكيانات التي تَحملُ ميزات وظيفية للكائنات الحيَّة –جينات جديدة ونواتجها البروتينية– هي عبارة عن مصفوفات خطِّية طويلة من الوُحيدات المتتالية بدقَّة –أسس نكليوتيدية في حالة الجينات وأحماض أمينية في حالة البروتينات–. لكن يَجب على هذه الكيانات المعقدَّة وعالية النوعية –تبعًا للنظرية الداروينية الجديدة– أن تنشأ أولًا وتوفِّر بعض الميزات قبل أن يكون بمقدور الانتقاء الطبيعي الحفاظ عليها. ومع اعتبار عدد الأسس الموجودة في الجينات، والأحماض الأمينية المتواجدة في البروتينات الوظيفية، لا بد عادة من حدوث عدد كبير من التغيّرات في ترتيب هذه الوحيدات الجزيئية قبل نشوء بروتين وظيفي جديد وقابل للانتقاء. يَجبُ أن تَحدُثَ عمليات إعادة ترتيب كثيرة ضئيلة الاحتمال للأسس النكليوتيدية قبل حدوث انتقاء لأي شيء جديد ومفيد، حتى ولو من أجل نشوء أقل إبداع ممكن (بروتين جديد).

تساءل إدين وآخرون فيما إذا كانت الطفرات تقدّم تفسيرًا كافيًا لنشوء المعلومات الجينية الضرورية لبناء بروتينات جديدة، ناهيك عن كل الأشكال

الجديدة كليًّا في الحياة. وقد شَرحَ الفيزيائي Stanislaw Ulam ذلك الموقف في المؤتمر بأنَّ العملية التطوّرية "تَبدو بحاجة آلاف، بل ربما ملايين، الطفرات المتتابعة لإنتاج أبسط التعقيدات التي نراها في حياتنا الآن، ويبدو –ظاهريًّا على الأقل– أنَّه مهما كان احتمال وقوع طفرة مفردة كبيرًا، ولو قلنا إنَّه كبير ليصل إلى قيمة ٠.٥ فيرتفع أسّ هذه الاحتمالية ليُصبح من رتبة المليون، أي أنَّه يَبقى قريبًا جدًا من الصفر، وفرص مثل هذه السلسلة تبدو غير موجودة عمليّا".[9]

البحث عن ثغرة

في عَرضه التقديمي في المؤتمر، اِعتَرَفَ إدين ذاته بوجود طريقة مُمكنة لحلِّ هذه المعضلة، حيث اقترَحَ إمكانية "أن تكون البروتينات المفيدة وظيفيًّا شائعة جدًا –نظريًّا– في هذا الفضاء التوافقي، بحيث أنَّ معظم (عديدات الببتيد) التي يُمكنُ أن يَعثرَ عليها المرء –نتيجة للطفرة والانتقاء– تَكون ذات وظيفة مفيدة".[10] اِصطَفَّ كثيرٌ من علماء البيولوجيا أنصار الداروينية الجديدة بصف هذا الحل المُمكن، إذ كان الحل كالتالي: حتى إن كان حجم الفضاء التوافقي الذي تَحتاجُ الطفرات للبحث فيه هائلًا، لكن ربَّما تكون نسبة تتاليات الأسس أو الأحماض الأمينية الوظيفية إلى غير الوظيفية في فضاءاتها التوافقية أعلى بكثير مما افترضه إدين وآخرون، وإن تبيّن أنَّ هذه النسبة عالية بما يَكفي، عندها كثيرًا ما تصادف الطفرة وآلية الانتقاء جينات وبروتينات جديدة، ويُمكنها بذلك القفز بسهولة من جزيرة بروتين وظيفي واحدة إلى الأخرى، ويَقومُ الانتقاء الطبيعي بحذف النتائج غير الوظيفية والاحتفاظ بالتتاليات الوظيفية النادرة –لكن ليست النادرة جدًا–.

كان إدين يَنفِرُ بكل تأكيد من تبنّي هذه الاحتمالية باعتباره مهندسًا كهربائيًّا اعتاد على العمل في شيفرات الحاسوب، حيث لاحظ أنَّ جميع شيفرات الحاسوب والنظم اللغوية قادرة على حمل المعلومات بدقَّة لأنَّها تَمتلكُ قواعد وقوانينَ لبناء الجملة، وتضمن هذه القوانين ألا يحمل كل تسلسل من الحروف معلومات وظيفية، لهذا السبب عادة ما تُحاطُ التتاليات الوظيفية في نظم الاتصالات القائمة في الفضاء التوافقي الأكبر بتتاليات غير وظيفية وافرة، تتاليات لا تَخضعُ للقوانين.

الواقع أنَّ التتاليات الوظيفية في الشيفرات والنظم اللغوية المعلومة عادة ما تُمثِّلُ جزرًا صغيرة من المعنى وسط بحر كبير من الزَّبد الفارغ. وقد أوضَحَ خبيرُ الوراثة مايكل دنتون أنَّ الكلمات والجمل ذات المعنى في اللغة الإنكليزية تقع ضمن مجموعة محدَّدة الطول من التوليفات المُمكنة للحروف، وتُصبحُ أكثر ندرة نسبيًا مع زيادة طول التتالي.[11] إنَّ نسبة الكلمات ذات المعنى والمؤلفة من ١٢ حرفًا إلى جميع التتاليات المكونة من ١٢ حرفًا هي ١\١٠ ^{١٤}؛ و قدّرت نسبة الجمل ذات المعنى المكونة من ١٠٠ حرف إلى كل التتاليات المُمكنة المكوَّنة من ١٠٠ حرف بـ١\١٠ ^{١٠٠}، فاستعمل Denton هذه الأرقام عام ١٩٨٥ لتفسير سبب التخرّب الحتمي في معنى النصِّ الإنكليزي بوقوع استبدالات عشوائية للحروف –بعد بضعة تغييرات فقط–، والسبب الذي يَجعلُ من هذا الأمر صحيحًا في النص الجيني أيضًا.

بافتراض أنَّ المعلومات الجينية مخزنة في الـDNA أبجديًّا أو بالحروف الطباعية، اشتَبَه موراي إدين وآخرون في (ويستار) أنَّ ذات النمط من المشاكل سيؤثِّرُ في التغيّرات الطفروية العشوائية في الـDNA، حيث يبدو منطقيًّا أنَّ الجينات والبروتينات الوظيفية محاطة أيضًا في فضاءاتها التوافقية بأعداد ضخمة من التتاليات

غير الوظيفية، كذلك ستكون نسبة التتاليات الوظيفية إلى غير الوظيفية صغيرة للغاية.

لكن لم يَعلم أيٌّ من العلماء في كلا جانبي النقاش في ويستار عام ١٩٦٦ مدى ندرة أو شيوع التتاليات الجينية والأحماض الأمينية الوظيفية ضمن فضاءات الاحتمالات الكلية، هل ربَّما تَحدثُ بتواتر ١ من كل ١٠، أم ١ من كل مليون، أو ربما ١ من كل مليون مليار تريليون؟ لم يكُن بالإمكان في ذلك الوقت الإجابة عن هذه الأسئلة.

لا يَزال يأملُ معظمُ علماءِ البيولوجيا التطوُّرية أنَّ تبرر الإجابة على هذا السؤال نموذج الداروينية الحديثة[12]، وقد دعَّمَت بعض التطوّرات ثقتهم، إذ خلال نهاية عقد الستينيّات، تعلّم مختصو البيولوجيا الجزيئية أنَّ معظم الأدوار الوظيفية التي تؤدِّيها البروتينات لا يَقومُ بها نوع دقيق واحد فقط من البروتينات، بل يَقومُ بها تشكيلة متنوعة منها، ولكل فرد منها تتالي أحماض أمينية خاص به –يَختلِفُ هذا عن قفل الدراجة الذي يَمتلكُ توليفة وظيفية وحيدة فقط–. وتعلم خبراء البيولوجيا التطوّرية أيضًا في الواقع أنَّ بعض الأحماض الأمينية الموجودة في مواقع معيّنة أساسية كليًّا لعمل أي بروتين نوعي، لكن تَتحمَّل معظم المواقع الأخرى استبدالات في الأحماض الأمينية دون فقد وظيفة البروتين. يُشيرُ هذا بالنسبة لكثير من البيولوجيين إلى أنَّ للطفرة والانتقاء فرصة منطقية لتوليد تتاليات وظيفية من الأسس النكليوتيدية أو الأحماض الأمينية بنهاية المطاف، أي أنَّ نسبة التتاليات الوظيفية إلى غير الوظيفية كانت أعلى بكثير مما توقَّعه المشكّكون.

لكن إلى أي حد هو أعلى؟ كم هو التغيّر المسموح به في تتاليات الأحماض الأمينية في البروتينات؟ هل هناك بروتينات وظيفية كافية ضمن فضاء توافقي احتمالي يَجعلُ البحث الطفروي العشوائي عن بروتينات جديدة معقولًا؟

عندما قارَنَ Denton النصَّ اللغوي والجيني لتفسير فداحة التضخّم التوافقي الذي يُجابه آليَّة الداروينية الجديدة، لاحظ استمرار "جهل البيولوجيين" بما يَلزمُ "لحساب الندرة الفعلية من البروتينات الوظيفية بأي درجة من اليقين"، واختتم كلامه بأنَّ التجارب المستقبلية ستستمر حتمًا بالخوض عميقًا في مورد علم البيولوجيا التطوّرية، "وقد يكون هذا قبل أن تُصبحَ التقديرات المؤكدة تمامًا ممكنة".[13]

في البحث عن النسبة

ثبتت صحة توقُّع Denton للتقدّم الوشيك، خلال نهاية الثمانينيّات وأوائل التسعينيّات، حيث أجرى Robert Sauer –خبيرُ البيولوجيا الجزيئية في MIT– سلسلةً من التجارب التي حاولت أولًا قياس ندرة البروتينات ضمن فضاء تتاليات الأحماض الأمينية.

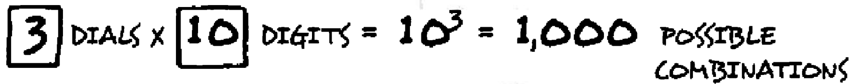
استَغَل عمل ساور لأول مرة تقنية جديدة سَمَحَت بالتعديل المنهجي للتتاليات الجينية، إذ استعمل العلماء سابقًا –قبل نهاية السبعينيّات– الإشعاع والمواد الكيميائية لإنتاج الأشكال الطافرة من الDNA، ورغم أنَّ هذه التقنيات مَنحَت نتائجَ دراماتيكية –مثل ذبابة الفاكهة الطافرة ذات الأرجل النامية من رأسها؛ وهي الذبابة ذات الأرجل الاستشعارية الشهيرة Antennapedia–، إلا أنَّها لم تَسمَح للعلماء بإملاء أي تغيّر نوعي في تتالي أسس الDNA، فكررت المعالجات ببساطة الظروف التي تَحدثُ بها الطفرات طبيعيًا.

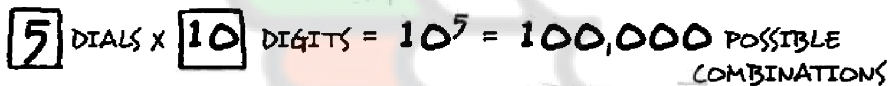
لكن خلال نهاية السبعينيّات وبداية الثمانينيّات، طوّر البيولوجيون الجزيئيون تقنيات لتحضير جزيئات DNA صنعية معدّلة، واستعمل روبرت ساور هذه التقنيات لإحداث تغيّرات موجّهة للموقع (site-directed) في تتاليات DNA جينات محدَّدة ذات وظيفة معروفة، ومن ثم إدخال هذه التغايرات variants في خلايا بكتيرية. ثم تمكّن بعد ذلك من تقييم أثر التغيّرات الموجّهة المختلفة –في تتاليات الDNA– على وظيفة نواتجها البروتينية ضمن مستنبت خلايا بكتيرية.

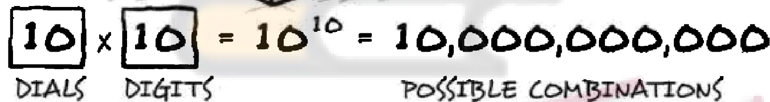
سَمَحَت تقنية ساور له بالبدء بتقييم عدد التتاليات المتغايرة التي لا تَزال قادرة على إنتاج شكل وظيفي من البروتين ذي الصلة –كنسبة مئوية من المجموع، اطَّلع على (الشكل ٩–٣)–، وأكَّدت النتائج الأوليَّة أنَّ البروتينات بالفعل قادرة على تحمّل مجموعة متنوعة من الاستبدالات في الأحماض الأمينية في مواقع كثيرة من سلسلة البروتين، لكن تجاربه اقترحت أيضًا أنَّ البروتينات الوظيفية قد تَكون نادرة بقدر لا يُصدق ضمن كل فضاءِ تتاليات الأحماض الأمينية المُمكنة. واعتمادًا على مجموعة من تجارب التطفير، قدّر ساور وزملاؤه نسبة تتاليات الأحماض الأمينية الوظيفية إلى غير الوظيفية بحوالي ١ إلى ١٠ ٦٣ –وذلك لبروتين قصير بطول ٩٢ حمضًا أمينيًّا–.[14]

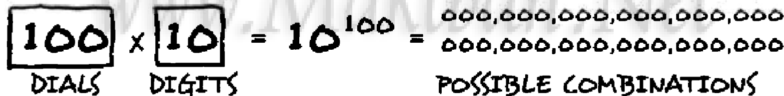
تتوافق هذه النتيجة تقريبيًّا مع التقدير المبكر الذي وضعه خبير نظريات المعلومات Hubert Yockey.[15] لم يقُم يوكي بإجراء تجارب ليَحصل على تقدير ندرة البروتينات في فضاء التتاليات التوافقي، لكنَّه استعمل بيانات منشورة سابقًا لمقارنة متغايرات متشابهة من بروتينات سيتوكروم c –بروتينات تَعملُ في السبل الكيميائية الحيوية التي تولّد الطاقة في الخلايا– في أنواع مختلفة من الكائنات. كان يوكي قد فعل ذلك ليَعرف مدى التغاير الموجود في كل موقع أميني في الجزيئات التي تؤدِّي الوظيفة نفسها وتَمتلكُ البنية الأساسية ذاتها.

باستعمال هذه البيانات حول التغيّر المسموح به في كل موقع، قدّر يوكي احتمالية إيجاد أحد التتاليات المسموح بها "بطول ١٠٠ ثمالة" ضمن العدد الكلي من التتاليات الموافقة لبروتين سيتوكروم c، وحدَّد نسبة التتاليات الوظيفية إلى غير الوظيفية بأنَّها تُعادلُ حوالي ١ إلى ١٠ ^{٩٠} لسلاسل أحماض أمينية من هذا الطول.[16] ورغم أنَّ نتائج ساور التجريبية كانت مختلفة عدديًا عن نتائج يوكي، إلا أنَّ كلا الأسلوبين أعطى نسبًا ضئيلة جدًا، ممَّا يَقترحُ أنَّ البروتينات الوظيفية هي بالفعل نادرة في فضاء التتاليات، حتى وإن سمحت البروتينات بوجود تنوّع معتبر في أحماض أمينية محددة وبمواقع مختلفة.









شكل (٩–٣): الشكل (٩–٣)أ: (في الأعلى) مشكلة التضخّم التوافقي عند تطبيقه على البروتينات. حيث يَنمو العدد الموافق من توليفات الأحماض الأمينية المُمكنة بدرجة أسّية مع ازدياد عدد الأحماض الأمينية الضرورية لإنتاج بروتين أو طيّة بروتينية. الشكل (٩–٣)ب: (في الأسفل) تصويرًا للسؤال حول ندرة البروتينات في فضاء تتاليات الأحماض الأمينية الشاسع.

بنظرة أوليَّة يَبدو أنَّ تجارب ساور تؤدِّي لاستنتاجات متناقضة، فمن جهة أثبتت نتائجه أنَّ كثيرًا من ترتيبات الأحماض الأمينية قادرة على إنتاج البروتين ذاته –بنيةً ووظيفةً– وهي كثيرة تملأ فضاء تتاليات الأحماض الأمينية. ومن جهة أخرى، يبدو أنَّ نسبة التتاليات الوظيفية إلى العدد الكلي من التتاليات الممكنة المقابلة لتتالي بطول حوالي ١٠٠ حمض أميني– منخفضة جدًا، وتَصِلُ إلى ١\١٠ [٦٣].

مع ذلك، ليس من الصعب الجمع بين الاستنتاجات التي تبدو متناقضة. تذكَّر مثالنا التخيلي حول الأقفال التي تواجه لص الدراجة، إذ عادة ما تمتلك أقفال الدراجات المصنّعة تجاريًا توليفة واحدة فقط من الأرقام التي تَسمحُ بفتح القفل، والتوليفة الوحيدة التي ستفتح القفل تعيّن رقمًا واحدًا لكل خانة –يمثلها قرص يدور–، ولا يَسمحُ بأي تغيّر في أي قرص تدوير.

تخيّل الآن نوعًا جديدًا من الأقفال يَختلفُ عن القفل الاعتيادي بثلاثة مواطن مهمة: أولًا، بهذا القفل البديل الجديد، هنالك أربع مواقع على كل قرص دوّار قد تفتح القفل، بالتوافق مع المواقع الأخرى على الأقراص الدوارة الأخرى. قد يَفرحُ اللص بوجود هذه الميزة في هذه الأقفال لأنَّها تُعطيه المزيد من الخيارات الصحيحة عند كل قرص دوّار –خانة–، لكنَّه لا يحب الصفتين الأخريين لهذا القفل. إذ يعرض كل قرص دوّار إحدى الحروف الـ٢٠ عوضًا عن الأرقام العددية الـ١٠، وهنالك ١٠٠ قرص دوار عوضًا عن الخمسة فقط.

من الناحية الإيجابية، هنالك عدد هائل من التوليفات الصحيحة التي ستفتح القفل ($٤^{١٠٠} = ١٠^{٦٠}$) لوجود ٤ خيارات صحيحة –من بين الحروف العشرين– على كل من الأقراص المائة الدوّارة، وهذا عدد فلكي من التوليفات الصحيحة.

لكنْ هنالك بالجانب السلبي ٢٠ وضعية ممكنة على كل قرص من الأقراص المائة الدوّارة، والذي بالحساب يؤدِّي لـ ($٢٠^{١٠٠}$ = $١٠^{١٣٠}$) توليفة مُمكنة، وهو عدد يقزّم كليًا عدد التوليفات الصحيحة.

سيكون لصُّ الدراجة سعيدًا بمعرفة أنَّ لكل قرص دوّار أربعة مواقع صحيحة مُمكنة، لكن في عملية التجربة والخطأ، يَكون لديه فرصة واحدة فقط من ٥ (٤ من ٢٠) ليرسو على موقع وظيفي ممكن على القرص، ولحساب احتمال أن يُصادفَ اللص توليفة صحيحة عند محاولة معيّنة يجب أن نَضربَ هذه الفرص (الخُمس) ١٠٠ مرة لوجود مائة قرص، فتكون النتيجة: فرصة واحدة من $٥^{١٠٠}$ أو –إن أردنا تحويل الرقم للأساس ١٠– حوالي فرصة من $١٠^{٧٠}$، وهذه الأرجحية هزيلة لأنَّ التوليفات الوظيفية –بقدر ما هي هائلة– فهي ضئيلةٌ بقدر عدد التوليفات الكلية.

وبالمثل، أثبَتَ ساور رغم أنَّ الكثير من التوليفات المختلفة من الأحماض الأمينية ستنتج تقريبًا بروتينا بذات البنية والوظيفة، إلا أنَّ التتاليات القادرة على إنتاجها لا تَزال نادرة للغاية، حيث أظهر تقريبًا وجود $١٠^{٦٣}$ تتاليًا غير وظيفي، مؤلف من ٩٢ حمضًا أمينيًّا لكل تتالٍ وظيفي واحد بالطول نفسه. ولتصوير هذه النسبة، فإنَّ احتمال الحصول على تتالٍ صحيح بالبحث العشوائي يُعادلُ بالكاد احتمال أن يجد رائد فضاءٍ معصوب العينين ذرة محددة مفردة بالصدفة بين جميع الذرات الموجودة في مجرة درب التبانة! وهي نتيجة غير محتملة بوضوح.[17]

حالة غير مؤكدة

رغم كل ما سبق، لم تكُن مقتضيات عمل ساور في النظرية التطوُّرية واضحة بالكامل خلال تسعينيات القرن الماضي -وهو وقت الصحوة على نتائج ساور-، ففي النشرة البحثية العلمية التي أعلن فيها ساور عن بحثه، كَتبَ في الملخَّص الذي يوجز نتائجه تأكيدًا على تحمّل البروتينات لاستبدال الحموض الأمينية. فتبنَّى العلماءُ في كلا جانبي النقاش حول التطوُّر الدارويني الملامح المختلفة لنتائج ساور إما بدعم أو تحدي معقولية تفسير الداروينية الجديدة لأصل الجينات والبروتينات.

حيث أكَّدَ العلماءُ المتعاطفون مع الداروينية الجديدة على تحمّل البروتينات لاستبدال الأحماض الأمينية؛ بينما أكَّدَ منتقدو النظرية على ندرة البروتينات في فضاء التتاليات. فاستشهد أحدهم -وهو Ken Dill الباحث في الفيزياء البيولوجية في جامعة كاليفورنيا بسان فرانسيسكو- بعمل ساور ليقترح إمكانية استبدال أي حمض أميني تقريبًا في أي موقع من سلسلة البروتين، طالما أنَّه يُبدي الخواص الصحيحة الكارهة للماء hydrophobicity، أو المحبة للماء hydrophilicity.[18]

في حين ذَكرَ عالم واحد على الأقل -الكيميائي البيولوجي مايكل بيهي من جامعة ليهاي- عمل ساور في التقدير الكمِّي لندرة البروتينات كدحض فاصل للقدرة الإبداعية للطفرة وآلية الانتقاء معًا.[19] لذلك عند منتصف التسعينيات، ورغم أنَّ ساور ومجموعته قد بدأوا ببرنامج بحثي يُعالجُ السؤال الرئيسي الذي طرحَه موراي إدين في (ويستار)، إلا أنَّ ذلك السؤال لم يلقَ إجابة شافية بعد: هل تَمتلِكُ (الطفرة) و(آليَّة الانتقاء الطبيعي) الفرصة المنطقية لإيجاد جينات وبروتينات جديدة ضرورية لبناء حيوان جديد من العصر الكامبري مثلًا؟ تنتظر الإجابة نظامًا اختباريًّا أكثر منهجية وشمولية.

الفصل العاشر

أصل الجينات والبروتينات

أصل الجينات والبروتينات

وجَّهَ دوجلاس أكس (الشكل ١٠-١) اهتمامه نحو نظرية التطوُّر حينما كان طالبًا في مرحلة الدكتوارة في الهندسة الكيميائية في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا أواخر ثمانينات القرن المنصرم، ذلك بعد أن قرأ عدد من زملائه الطلبة الكتاب الأكثر مبيعًا في ذلك الوقت ألا وهو (صانع الساعات الأعمى) لريتشارد دوكينز. تحوَّل زملاء أكس بسرعة لمناصرين متحمِّسين لحجج دوكينز، وألحوا عليه لقراءة الكتاب بنفسه. لمَّا قرأه أكس لم يُخفِ إعجابه بوضوح كتابات دوكينز ورسوماته، لكنَّه وجَد أنَّ حججه على وجود القدرة الخلاقة للانتخاب الطبيعي والطفرات العشوائية غير مقنعة. وسواء احتجَّ في مقارناته بـ(نسل الحيوانات) أو بـ(المحاكاة الحاسوبية) التي اعتادَ استخدامها ليُثبت القدرة المفترضة للطفرة والانتخاب على توليد المعلومات الجينية الجديدة؛ فإنَّ دوكينز يُمرِّر كثيرًا -وبخفاء- مفهومَه للانتخاب الطبيعي، الذي يَستبعدُ بجلاء يد الكائن الذكي الموجهة للتطور.

وجد أكس أنَّ محاكاة دوكينز الحاسوبية ممتعة بشكلٍ خاص؛ إذ يَصِفُ دوكينز في كتابه (صانع الساعات الأعمى) كيف برمج الحاسوب على توليد عبارة شكسبير: "يبدو لي أنَّها تشبه ابن عرس".[١]

قام دوكينز بهذا العمل ليُحاكي قدرة الطفرات العشوائية والانتخاب الطبيعي على توليد معلومات وظيفية جديدة.

قام دوكينز في البداية ببرمجة الحاسوب على توليد العديد من التسلسلات المنفصلة من الحروف الإنجليزية ومن ثم كتب أمرًا برمجيًا يُقارنُ كل تسلسل حروف ناتج مع جملة شكسبير المستهدفة، ويَنتَقي التسلسل الأقرب شبهًا لها

فقط.[2] وعند تشغيل البرنامج، قام بتوليد نماذج مختلفة من تسلسلات الحروف، وقارنها مع الجملة الهدف، ثم "انتخب" أكثرها شبهًا بها، وولَّد هذا العمل –بعد العديد من الجولات– تسلسلًا يُطابق الجملة الهدف تمامًا.

أدرَكَ أكس مباشرة الدور الذي لعبه ذكاء دوكينز في التجربة؛ فدوكينز لم يَكتفِ فقط بتزويد البرنامج بالمعلومات التي يَحتاجها لتوليد جملة " Methinks It Is Like A Weasel يَبدوا لي أنَّها تُشبه ابن عرس"، بل زوَّد الحاسوب بنوع من الرؤية المستقبلية من خلال توجيهه لمقارنة تسلسلات الحروف المتنوعة بالعبارة الهدف، وأدركَ أكس أيضًا أنَّ برنامج دوكينز الحاسوبي لا يُحاكي الانتخاب الطبيعي، الذي هو –بالتعريف– "غير موجّه"، ولم يُلقنه أحد معلومات ليَصِلَ إلى أجيال مطلوبة في المستقبل.

بدأ أكس بالتساؤل عن إمكانية وجود طرق أخرى لتقييم القدرة الخلاقة للطفرة والانتخاب الطبيعي، ليس بالقياسات الذكية ولا بالمحاكاة الحاسوبية التبسيطية، إنَّما بدقَّة وصرامة التجربة والحسابات الرياضية.

أدركَ أكس أنَّ دوكينز كان محقًّا في شيء واحد؛ أهمية المعلومات الجينية. وعلى غرار زميله المهندس (ماري إيدن Murray Eden)، فإنَّ ميل (أكس) لرؤية البيولوجيا بعين مهندس هو ما حدا به للتساؤل عن قدرة الانتخاب والطفرات على بناء كائنات حيَّة جديدة. استكشَف بحث أكس العلاقة بين التحكم بالنظم –اختصاص دراسي في الهندسة– والتنظيم الجيني، والذي هو شكلٌ معقَّدٌ من التحكم بالنظم الآلية في العمل على المستوى الجزيئي داخل الخلايا الحيَّة. كما أدركَ أكس أيضًا أنَّ إنشاء كائنات جديدة يَتَطلَّبُ بالضرورة بناء بروتينات جديدة،

والتي بدورها تتطلَّب معلومات جينية جديدة نظرًا لاعتماد الخلايا على البروتينات للقيام بخطوات التنظيم المختلفة.



الشكل (١٠-١): دوجلاس أكس. بإذن من بريتاني لانديو.

لكن هل تستطيع الطفرات والانتخاب أن يولِّدا المصفوفات الدقيقة من الأسس النكليوتيدية اللازمة لتشكيل البُنى البروتينية الأساسية الجديدة؟ قاد اهتمام أكس بهذا السؤال في النهاية إلى الاطلاع على أبحاث علمية منشورة لروبرت ساور Robert Sauer ومحاضر اجتماعات مؤتمر فيلادلفيا -المعتّم عليه إعلاميًا على ما يبدو- لعام ١٩٦٦ المنعقد تحت عنوان (التحديات الرياضية التي تواجه تفسير الداروينية الجديدة للتطور).

عندما قرأ أكس الأوراق التي قدَّمتها مجموعة ساور البحثية أدرَكَ أهميتها كخطوة أولى نحو إجابة الأسئلة التي طرحها موراي إيدن في معهد ويستار الطبي البيولوجي. إن تَحققت قياسات ساور الكمية حول الندرة فلن تَستَطيعَ الطفرات ولا الانتخاب –كما يَظُنّ أكس أنَّه واضح للعيان– أن تَبحثَ عن الإجابات الصحيحة في هذا الفضاء الواسع من الاحتمالات. أمَّا إن كانت نتائج تجارب التطفير مخالفة لنتائج أعمال ساور، وأظهرت عدم التأثر الكبير في وظيفة البروتين بتغيير تسلسل الأحماض الأمينية فعندها ربَّما يكون عدد التسلسلات الوظيفية كبيرًا بما يَكفِي لمنح الطفرات والانتخاب فرصةً كافية لإيجاد جينات وبروتينات وظيفية جديدة في فترات زمنية معقولة.

بعد أن نَالَ أكس درجة الأستاذية، قام بالاستقصاء عن مختبرات الأبحاث المتميزة للقيام ببحث ما بعد الدكتوراة في أحدها، ليَستطيع إيجاد أجوبة عن هذه الأسئلة العالقة. وسرعان ما دعاه أستاذ جامعة كمبريدج Alan Fersht –وهو مدير مركز هندسة البروتينات، أحد المراكز التابعة لمجلس البحوث الطبية MRC الشهير في كامبريدج– لينضمَّ إلى فريقه البحثي.

لم يكُن قرار أكس بقبول عرض فيرشت قرارًا صعبًا؛ إذ يضمُّ تاريخ مختبر البيولوجيا الجزيئية -الذي يعتبره البعض مسقط رأس البيولوجيا الجزيئية– كوكبة واسعة من النجوم اللامعة أمثال جيمس واطسون وفرانسيس كريك وماكس بيروتز وجون كيندرو وسيدني برينر وفريد سانجر.

بدأ أكس في قسم الكيمياء ثم انتَقل إلى مركز مجلس البحوث الطبية آملًا أن يتقدَّم بتدريبه البحثي لحسم الارتياب المحيط بتفسيرات نتائج ساور، وأراد على وجه التحديد أن يلغي ما اعتبره مصدرين للخطأ في طريقة ساور من أجل الوصول إلى تقدير أكثر تحديدًا لتكرار التسلسلات الوظيفية في حيز التسلسلات.

ظنَّ أكس في البداية أنَّ فريق ساور ربَّما استخفَّ بندرة البروتينات الوظيفية. فقد اختبروا في تجربتهم تحمل البروتينات لتبديل الأحماض الأمينية بتغيير بعضها في موقع واحد أو عدة مواقع مترابطة، دون عمل أي تغييرات في المواقع الأخرى بنفس التجربة، فكما أنَّ خطأً مطبعيًا مفردًا لن يُفسدَ معنى نص مكتوب بشكلٍ كامل لأنَّه مقيدٌ بالكلمات الأخرى في سياق الحديث، فمن الطبيعي أن يَجِدَ ساور وزملاؤه أنَّ البروتين المستخدم يَتَحمَّلُ التغييرات المعزولة في هذه المواقع المنتشرة على طول سلسلته الببتيدية، تمامًا كما يَقوم قارئ النص الذي يحوي بعض الأخطاء بتخمين المعنى الصحيح غالبًا، لذلك بدا وكأن فريق ساور يَفترضُ ظهور تفاوت مشابه إذا ما قاموا بتغيير العديد من المواقع في آن واحد.

ظنَّ أكس أنَّ هذا الافتراض يَتجاهل أهمية السياق الطويل الذي توفِّره معظم البروتينات غير المتغيرة؛ إذ لن يؤدِّي أي خطأ مطبعي واحد إلى تحريف شامل لمعنى مقطع من اللغة الإنجليزية، وذلك بسبب وجود سياق الكلمات المرافقة والأحرف الصحيحة الأخرى في الكلمة المتغيرة. لكن هذا لا يَعني أنَّ جودة التسلسل لا تَهم، بل إنَّ معنى الجملة التي تَحتوي على خطأ مطبعي لا يُمكنُ أن يُدركَ إلا بسبب وجود بقية الحروف مرتبة بشكلٍ محدد بكلمات وعبارات ذات معنى يُعطي للنص سياقًا يحدد معنى الكلمة المكتوبة خطأً. لهذا السبب سرعان ما تُصبحُ الجملة بلا معنى إن تركنا الأخطاء تتراكم في مواضع مختلفة منها.

تَساءل أكس إن كان الشيء ذاته صحيح في ما يَخصُّ الجينات والبروتينات، وتساءل إن كانت التغييرات في مواقع متعددة -وليس موقعًا مفردًا- ستُدمّر الوظيفة بسرعة، وتساءل أيضًا إن كان تحمُّل tolerance التبادلات في موقع واحد يَعتمدُ على السياق؛ سواء كان تحملُ التبادل في موقع واحد يُمكنُ أن يَعتمدَ على وجود تسلسلات محددة بشكلٍ دقيق في مواقع أخرى أو لا. لذا، من دون أدنى شك، اعتقدَ أكس أنَّ نتائج تجربة ساور وجَّهت نفسها بنفسها نحو التفسيرات الخطأ. وقد أوحت للعديد من علماء البيولوجيا الجزيئية أنَّ البروتينات قادرة على التكيف بسهولة مع العديد من التغيرات المتزامنة الطارئة على تسلسلاتها الببتيدية في عدة مواقع، مع المحافظة على وظيفتها.

كما تبيَّن لاحقًا، فقد كان ساور مُدركًا لإمكانية إساءة تفسير نتائجه، حيث وضَّحَ في ورقته البحثية نفسها التي نشر فيها تقديراته الكمية للندرة ما نصه: "تبالغ هذه الحسابات في عدد التسلسلات الوظيفية، لأنَّه من المستبعد أن تكون تلك التغييرات في المواضع المفردة مستقلة عن بعضها، وذلك لأنَّ المزيد من المواضع تكون عرضة للتغير".[3]

هناك افتراض آخر في مقاربة ساور ربَّما يكون له تأثير معاكس يُبالغ في تقديرات ندرة البروتينات الوظيفية. ظنَّ أكس أنَّ الاختبار الذي استخدمه ساور وزملاؤه لتحديد ما إذا كان على البروتينات الطافرة (المتغيرة) أن تكون في مستوى أعلى من الوظيفية عن تلك التي يُمكنُ أن يتطلَّبها الانتخاب الطبيعي. وقد حكم ساور وفريقه على البروتينات ذات النسبة الوظيفية الأقل من ٥% الموجودة في البروتين الطبيعي بكونها غير وظيفية. مع ذلك، يعلم أكس أنَّ الأنزيمات المتضرِّرة والتي لديها وظيفة أقل من ٥% من الوظيفة الطبيعية ستكون أكثر نفعًا من عدم

وجودها على الإطلاق. وعليه -فمن وجهة نظر الداروينية الجديدة- ربما يَمنحُ ظهور هذه البروتينات المشوهة أهمية انتخابية للكائن الحي الذي يَمتلكها. اعتقَدَ أكس بأنَّ رفض فريق ساور بكون هذه التسلسلات الطافرة غير وظيفية على الإطلاق قد فتح المجال لخطأ تقديري آخر. هذه الأخطاء تَجعلُ من الصعب معرفة إن كانت تقديرات فريق ساور أكثر أو أقل من الحقيقة، أو أنَّ خطأَيْ الزيادة والنقصان في التقدير يلغيان بعضهما البعض. وللتخلص من مصدري الخطأ هذين، قام أكس بتصميم سلسلة جديدة من التجارب بعناية.

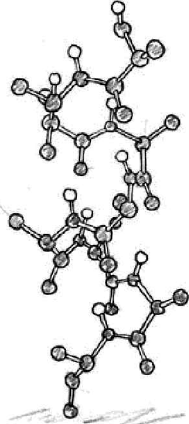
أهمية الطّيات البروتينية في بنيتها الفراغية

كانت لدى أكس نظرة ثاقبة ساهمت في تقدم برنامجه التجريبي؛ فقد أرادَ أن يُركِّزَ على مشكلة أصل الطيّات البروتينية الجديدة والمعلومات الجينية الضرورية لإنتاجها، وهو اختبار حاسم لآليات الداروينية الجديدة. تَشملُ البروتينات على الأقل ثلاثة مستويات بنيوية متمايزة[4]: البنية الأولية والبنية الثانوية والبنية الرابعية. تتوافق البنية الرابعية مع تطوي البروتين. ويُشكِّلُ التسلسل الخاص من الأحماض الأمينية في البروتين -أو عديد الببتيد- بنيته الأولية. أمَّا العناصر البنيوية المتكررة motifs كـ(لوالب ألفا alpha helices) و(صحائف بيتا beta strands)، التي تتكون من تسلسلات أمينية محددة فتشكل البنية الثانوية. والطيّات الأكبر -الميدان البروتيني domain- التي تَتَشكَّلُ من هذه البُنى الثانوية تُسمَّى بالبنية الرابعية (الشكل ١٠-٢).

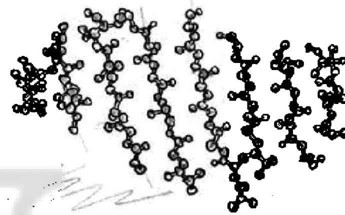
أدركَ أكس أنَّه كما أنَّ أشكال الحياة الجديدة تَظهر خلال تاريخ الحياة -بحوادث كحادثة الانفجار الكامبري- فإنَّ ذلك يترافق مع تشكل بروتينات جديدة

متنوعة. عادة ما يَكون لدى الحيوانات الجديدة أعضاء وأنماطًا خلوية جديدة، وتتطلَّب هذه الأنماط الخلوية الجديدة بروتينات جديدة لخدمتها. في بعض الحالات تَقومُ هذه البروتينات الجديدة –من الناحية الوظيفية– بوظائفها المختلفة، مع أنَّها تَملِكُ الطيّات نفسها –البنية نفسها– التي كانت للبروتينات الأقدم. إلا أنَّ البروتينات القادرة على القيام بوظيفة جديدة في غالب الأحيان تَتَطلَّبُ طيّات جديدة، ويَعني هذا أنَّ هذا البروز المفاجئ للنماذج الحيَّة الجديدة لابد وأن ينطوي على بروز مفاجئ لطيّات بروتينية جديدة أيضا.

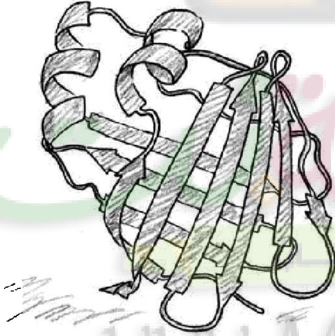


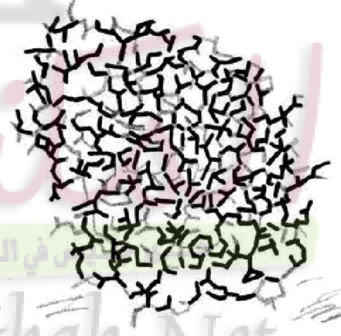












الشكل (١٠-٢): مستويات مختلفة من البنية البروتينية. يظهر الشكل الأول في الأعلى البنية الأولية للبروتين: تسلسل من الأحماض الأمينية تشكل سلسلة عديد الببتيد. أمَّا القسم الثاني فيصوِّرُ بطريقتين مختلفتين البنيتين الثانويتين المعروفتين: لوالب ألفا (يسار) وصفائح بيتا (يمين). في حين يظهر القسم الثالث في الأسفل وبشكلين مختلفين البنية الرابعية -تطوي البروتين

لاحظ الباحث المعاصر في الوراثة والبيولوجيا التطوُّرية سوزومو أونو Susumu Ohno أنَّ حيوانات العصر الكامبري تطلَّبت بروتينات جديدة معقدة مثل (أُكسيدازُ اللِّيزيل) لتدعم بنيتها الجسدية المتينة. عندما ظَهَرَت هذه الجزيئات أول مرة في حيوانات العصر الكامبري حملت معها طيّات مبتكرة لم تكن معهودة في أشكال الحياة في عصور ما قبل الكامبري، كالإسفنج أو الكائنات وحيدة الخلية، لذا اعتَقَدَ أكس أنَّ إيضاح نوع هذا الابتكار الذي حدث خلال الانفجار الكامبري وأمثاله من أحداث تاريخ الحياة يَتَطلَّبُ –على الأقل– آليّة قادرة على إنتاج طيات بروتينية جديدة.

لدى أكس سبب آخر للتفكير بأنَّ البحث في القدرة على إنتاج طيّات بروتينية جديدة يوفِّرُ اختبارًا حاسمًا للقدرة الخلاقة لآليات الطفرات والانتخاب الطبيعي. وأدركَ أكس كمهندس أنَّ بناء حيوان جديد يَتَطلَّبُ ابتكارات في الشكل والبنية.

أدرك أيضًا كعالم بروتين أنَّ الطيّات البروتينية الجديدة يُمكنُ أن ترى كأصغر وحدة للابتكار البنيوي في تاريخ الحياة.

نستنتج من هذا أنَّ الطيّات البروتينية الجديدة تُمثِّلُ الوحدة الأصغر في الابتكار البنيوي الذي يُمكن للانتخاب الطبيعي أن يَختاره. يستطيع الانتخاب الطبيعي بالتأكيد أن يعمل على الوحدات الأصغر من التغيرات –تغيرات من رتبة حمض أميني واحد تؤدِّي إلى تحسينات وظيفية جزئية أو زيادة القدرة التكيفية– إلا أنه لا يَعملُ على تكوين طيات جديدة. لكن ماذا لو أنَّ المكاسب التكيفية أو الوظيفية التي يَحتفظُ بها الانتخاب الطبيعي ويمرِّرها لا تولِّدُ ابتكارات بنيوية على

الإطلاق؟ ماذا لو أنَّها فقط تَحتفظُ بالتغيرات الطفيفة في التسلسلات والوظيفة البروتينية، ممَّا يَعني وجود بعض المكاسب دون تغير في البنية؟ عندها سيكون من الواضح أنَّ التغيرات الأساسية في شكل الكائن الحي لن تَحدثَ. يتطلب بناء أشكال جديدة كليًا من الحياة ابتكارات بنيوية. لذا، لابد أن تولّد الطفرات طيّات بروتينية جديدة لمنح الانتخاب الطبيعي الفرصة ليَحفِظَ ويجمّع الابتكارات البنيوية. وعليه أدركَ أكس أنَّ القدرة على إنتاج طيّات بروتينية جديدة تشكل شرطًا أساسيًا للابتكارات التطورية الكبروية macroevolutionary.

هل تَستطيعُ الطفرات العشوائية أن تولِّدَ مثل هذه الطيّات البروتينية الجديدة؟ أدركَ أكس أنَّ الإجابة عن هذا السؤال تَعتمدُ على قياس ندرة الجينات والبروتينات الوظيفية في فضاء التسلسلات وتحديد فيما إن كان للطفرات الجينية العشوائية الفرصة الكافية للبحث عن هذه التسلسلات في ذلك الفضاء خلال الوقت المتاح للتطوُّر.

نتائج أكس الأوليّة

قرأ أكس الورقة البحثية التي نشرها ساور وزميله جون ريدهار أولسون John Reidhaar-Olson، والتي قدرت نسبة التسلسلات البروتينية الوظيفية بكونها صغيرة للغاية (١ من كل ١٠[63]). ولاحظ تَعمّد المؤلفين عدم التأكيد على قياس الندرة هذا، إنَّما أكدوا على تنوع استبدالات الأحماض الأمينية التي يُمكنُ أن يتحملها البروتين قيد الدراسة.

كرَّر كل من ساور وريدهار–أولسون الفكرة التي كانت سائدة حينها أنَّ الأحماض الأمينية المدفونة داخل الطيّات البروتينية –تُشكِّلُ ما يُعرف باللب الكاره

للماء- هي الأهم لتحديد البنية، في حين أنَّ ترتيب الأحماض الأمينية الخارجية ليس بنفس الأهمية.[5] كما اعتقدا أنَّ الأحماض الأمينية المدفونة في الطيَّات البروتينية في العادة تكون كارهة للماء -طاردة للماء- في حين يَجبُ أن تكون الأحماض الأمينية الخارجية في معظمها محبة للماء -جاذبة للماء-. الحقيقة أنَّ بعض علماء البروتينات يَظنون أنَّ هذه القيود البسيطة هي كل شيء؛ أي أنَّ الطيَّات الوظيفية البروتينية لا تتطلَّبُ شيئًا سوى ترتيب مناسب للأحماض الأمينية المحبة للماء والكارهة له في ترتيب معين.

أجرَى أكس في مُختبر فيرشت في كامبريدج اختبارًا تجريبيًّا لهذه الفكرة، وقد فوجئ بالنتائج الأوليَّة التي أعلن عنها في ورقة بحثية شارك في تأليفها ونشرت في أعمال الأكاديمية الوطنية للعلوم the Proceedings of the National Academy of Sciences لعام ١٩٩٦. عندما قام أكس بتغيير بقايا اللب الكاره للماء -المؤلف من ١٣ ثمالة residue- لإنزيم صغير بتشكيلة عشوائية من الأحماض الأمينية الأخرى الكارهة للماء كان لا زال هناك جزء كبير من البروتينات الناتجة بالاستبدال العشوائي -١ إلى ٥- يَقومُ بوظيفته السابقة. وقد أشار ذلك إلى أنَّ البروتينات ربّما تكون أقل حساسية لخسارة الوظيفة -كنتيجة لتغير التسلسلات- عمّا كان أكس يتوقَّعُ.

ركَّز أكس بعد ذلك على القسم الخارجي من البروتينات فاختار بطريقة عشوائية جزأين خارجيين لبروتينين بطريقة مشابهة للغاية لما فعله في اللب. وهنا أخفقت مقاربته في إنتاج أي تنوعات وظيفية على الإطلاق، وأدركَ بأنَّ هذا يبدو مخالفًا لما افترضه ساور والآخرون، لكنَّه قرَّر عمل تغييرات أكثر تحديدًا في تجربته التالية.

فغيّر كل ثمالة حمض أميني خارجي مع الحمض الأميني الأشبه بها، إلا أن كلاً من البروتينين الذين درسهما فقدا الوظيفة كاملة بمجرد تغيير خُمس الثمالات الخارجية. عند ذلك استنتج أنَّ الأجزاء الخارجية من البروتين أكثر حساسية لخسارة الوظيفة نتيجة لتغيير الأحماض الأمينية ممّا كان مفترضًا من قبل على نطاق واسع.

صمَّم أكس تجاربه في كل أعماله ليعالج مصدري الخطأ في التقدير المتأصلين في طريقة ساور. أولًا، بدراسة تغيير الأحماض الأمينية بتوليفات بدلًا من تغييرها بشكلٍ منعزل، وقرَّر أكس أنَّ السياق المحيط بموقع التغيير عادة ما يؤثِّرُ في خسارة الوظيفة بتغيير حمض أميني محدَّد في موقع محدّد. أي أنَّه اكتشف أنَّ إهمال تأثير السياق في التسلسل البروتيني يَنتجُ عنه زيادة تحمّل البروتين لتغيير الأحماض الأمينية فيه في مواقع محددة كما كان يتوقَّع هو وساور سابقًا.

ثانيًا: البروتينات التي اختارها أكس لدراسته جَعَلَت من المُمكن تحرّي الوظيفة بمستويات أقل ممَّا كان متاحًا في دراسات ساور. إذ بالنسبة لبروتين واحد قام أكس بدراسته؛ سمحَت زيادة حساسية اختبار الوظيفة بزيادة فرص اكتشاف الوظيفة المتبقية في بروتين أحادي الطفرة، حيث أمكَن أن نَصِفَ ٩٥% من البروتينات الطافرة بأنَّها "فعالة". وقد أشار ذلك إلى أنَّ فحوص ساور الأقل حساسية ساهمت بالفعل في حدوث أخطاء في التقدير، لكن في الاتجاه المعاكس هذه المرة. كما أنَّ طرق أكس الأكثر حساسية في الفحص سمَحَت له أيضًا بإثبات أنَّه بالرغم من أنَّ الطفرات المنفردة تَسمحُ للعديد من البروتينات بالحفاظ على جزء من وظيفتها، إلا أنَّها تَقومُ بإتلاف هذه الوظيفة، وهو ما يَكفي غالبًا ليعمل الانتخاب الطبيعي على غربلتها والقضاء عليها. علاوة على ذلك، ونظرًا لحساسية فحوصات

أكس الوظيفية المفرطة، فقد تعلَّم أكس أنَّ أي طفرة منفردة تُفشل اختباره كافية وحدها دون مساعدة للقيام بتدمير الوظيفة، وقرَّر أنَّ ٥٥% من أمثال هذه التغيرات بالفعل دمرت الوظيفية البروتينية بالكلية.

لذا فقد أظهر بشكلٍ عام أنَّه على الرغم من وجود بعض التغيير المسموح به إلا أنَّ البروتينات –والجينات التي تنتجها– بالفعل شديدة النوعية مقارنة بوظيفتها البيولوجية، خصوصًا في الجزء الخارجي الحاسم منها. أوضح أكس أيضًا أنَّه في الوقت الذي تَقبلُ فيه البروتينات بعض التغايرات في معظم المواقع –بشرط بقاء البروتين دون تغيُّر–، فإنَّ تبديل عدة أحماض أمينية –بخلاف التبديل المفرد– سيؤدِّي دومًا لخسارة سريعة في وظيفة البروتين. وقد كان ذلك هو الحال حتى عند حدوث هذه التغايرات في مواقع تَسمح بالتغيير المنفرد عليها.[6] وقد أكَّدت تجربته الجديدة تقييمات ساور الكمية السابقة حول ندرة البروتينات الوظيفية، مع أنَّ أخطاء التقدير متأصلة في طريقة ساور. لماذا؟ لأنَّ مصدري الخطأ في طريقة ساور –تجاهل سياق التسلسلات واستخدام فحص غير كاف لحساسية الوظيفة– في الحقيقة يلغي أحدهما الآخر تقريبًا.

ورغم زيادة هذا الإدراك، إلا أنَّ أكس لم يحدِّد بعد ما إن كانت صورة التحمل المقيدة بشكل كبير، والتي وصلت إليها تجاربه، ستسبب مشاكل لتطور طيَّات بروتينية جديدة. من أجل الإجابة عن هذا السؤال سيكون بحاجة للحصول على تقدير أكثر دقَّة لندرة البروتينات الوظيفية في فضاء التسلسلات.

وبمجرد أن طوَّرَ أكس طريقته التي قام فيها باستبعاد المصدرين الأساسيين للأخطاء في تجارب التطفير السابقة، أصبح أكس مخولًا للإجابة عن السؤال بدقَّة

غير مسبوقة. بمجرد القيام بذلك، سيحدِّد ما إن كانت التغيرات الجينية العشوائية تَمنح فرصًا كافية -على مدى زمن التطوُّر- للبحث في حيّز التسلسلات عن الجينات والبروتينات الوظيفية.

لا تتخلّى عن الطيّات

بطبيعة الحال فَهِمَ أكس أنَّ مؤيدي الداروينية الجديدة لا يتصوَّرون رحلة عشوائية تمامًا في حيِّز تسلسلات الأحماض الأمينية والنكليوتيدات، بل يَرون أنَّ الانتخاب الطبيعي يَعملُ للحفاظ على التغايرات المفيدة وحذف الضارة منها. يُشبه ريتشارد دوكينز الكائن الحي بقمة جبل عال[7]، ويقارن تسلق الجرف الحاد الأمامي نحو القمة ببناء كائن حي جديد بالصدفة المحضة؛ أي بالطفرات العشوائية فقط. يَعترفُ أنَّ هذه المقاربة لتسلّق الجبل مستحيلة، ولن تَنجحَ، لذلك سمَّاه (جبل المستحيل)، إلا أنَّه أصرَّ على أن التسلُّق التدريجي للمنحدر من طريق خلفي متعرج يَجعلُ من الوصول للقمة أمرًا ممكنًا بخطوات كثيرة. في عملية القياس تلك، يتوافق الطريق الخلفي لصعود جبل المستحيل مع عملية الانتخاب الطبيعي العامل على العديد من التغيرات العشوائية الصغيرة في النص الجيني، وما لا تَستطيعُ الصدفة وحدها أن تقوم به، يقوم به (الانتخاب الطبيعي)، عندما يَعملُ على الطفرات العشوائية من خلال التأثير التجميعي للعديد من الخطوات الناجحة الصغيرة.

مع ذلك، فقد أبرزت نتائج أكس التجريبية مشكلة لم تواجه السيناريوهات التي تفترض عمل الطفرات العشوائية منفردة فقط، بل وواجهت أيضًا السيناريوهات التي ترى أنَّ الانتخاب الطبيعي والطفرات العشوائية يَعملان سويّا. بالإضافة إلى ذلك، فقد أثارت تجاربه في التطفير الشك حول السيناريوهات التي يَعتمدها علماء

البيولوجيا التطوُّرية لتفسير ظهور الطيَّات البروتينية –والمعلومات الضرورية لإنتاجها– كنتيجة للطفرات والانتخاب الطبيعي.

نظريًا، قد تنشأ الجينات الجديدة التي لديها القدرة على إنتاج طيَّات بروتينية جديدة إمَّا من (أ) جينات موجودة سلفًا أو (ب) أجزاء غير وظيفية من الجينوم. يَعني أنَّه لنحاكي تمثيل دوكينز التصويري يَجبُ أن يكون الانتخاب الطبيعي والطفرات قادرين على إنتاج جينات وظيفية جديدة بدءًا من:

١) قمَّة جبلية أخرى –جينات وظيفية أخرى عاملة سلفًا–.
٢) من بطن الوادي –جزء غير وظيفي من الجينوم–.

إلا أنَّ نتائج أكس التجريبية تُظهرُ أنَّ فعل الانتخاب الطبيعي لا يُساعدُ في حلِّ المشكلة التي تواجه آليَّة الطفرات في كلتا الحالتين، ولمعرفة السبب، فنحن بحاجة لمزيد من الفهم حول كل من هذين السيناريوهين للداروينية الجديدة، بالإضافة إلى نتائج أكس التجريبية حولهما.

من قمة إلى قمة

في الحالة الأولى، ربَّما يتراءى لعلماء البيولوجيا التطوُّرية أنَّ الطفرات والانتخاب الطبيعي يغيران تدريجيًّا الجينات الموجودة سلفًا، ومنتجاتها البروتينية، لإنتاج جين وظيفي آخر، وبالتالي منتجٍ بروتينيٍ مختلف. يَتَضمَّن هذا السيناريو التحرك مجازًا من القمة الوظيفية الأولى إلى الثانية دون السقوط في الوادي –المنطقة التي يَتلاشى فيها التكيف أو اللاوظيفية-.

يَرفضُ معظمُ علماءِ البيولوجيا التطوُّرية هذا السيناريو الأول[8]، لأنَّهم يُدركون أنَّ الطفرات التي حَدَثت للجينات الموجودة بشكلٍ مسبق ستقوم في العادة بتشويه

المعلومات الجينية الوظيفية، كما يَعلمون أيضًا أنَّ الجينات عندما تَفقدُ الوظيفة سيعمل الانتخاب الطبيعي في النهاية على استبعاد الكائنات الحيَّة التي تحتوي على هذه الجينات. وإن أصابت الطفرات التي تخرب الوظيفة الجينات التي تُساهم في الوظيفة السليمة لكائن حي؛ فإنَّ هذا الأمر سيُخضع هذا الكائن وفق علماءُ البيولوجيا التطوُّرية للانتخاب المطهر (purifying selection). أي أنَّ الانتخاب الطبيعي عادة ما يستبعد الكائنات التي تَملكُ تغايرات جينية ناتجة عن الطفرات المشوهة للوظيفة أو الكفاءة. (يَصطلحُ علماءُ البيولوجيا التطوُّرية تسمية احتفاظ الانتخاب الطبيعي بالتغايرات الجينية التي تحسن الوظيفة أو الكفاءة بالانتخاب الإيجابي).

أكَّدت تجارب أكس هذه الأسباب المثيرة للشكوك حول أول السيناريوهات المحتملة في الداروينية الجديدة، وعلى الأقل كتفسير لأصل الطيَّات البروتينية الجديدة. ففي عمل بحثي نشره عام ٢٠٠٠ أظهر أكس وجود صعوبة كبيرة للغاية في عمل تغيرات مكثفة على تسلسلات الأحماض الأمينية الوظيفية دون الإخلال بثباتية الطيّات البروتينية.

حتى في أفضل الحالات، والتي تتضمن فيها التغيرات تبديل حمض أميني في القسم الظاهري من البروتين بحمض آخر مشابه له، فإنَّ ذلك سيؤدِّي إلى الإخلال بثبات الطيَّات البروتينية.

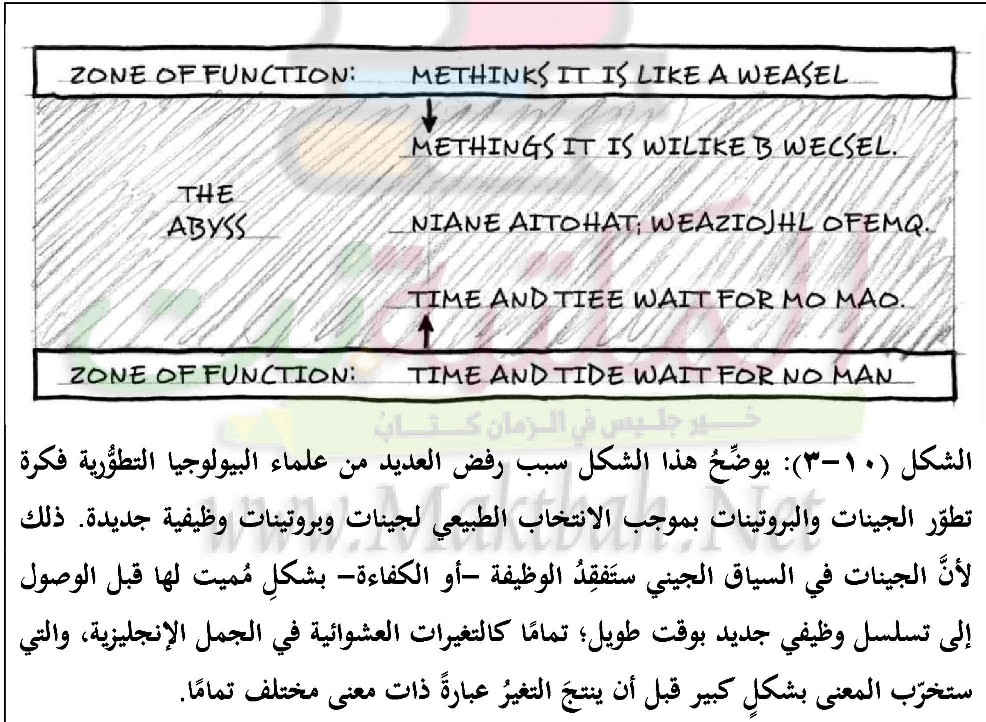
قام أكس في هذه التجارب بتطفير جين أنتجَ بروتينًا يَحملُ طيَّة واحدة وله وظيفة واحدة. وجدَ أكس أنَّه كلَّما غيَّرَ في البروتين شيئًا تحدث تغيرات في مواقع متعددة من ظاهر البروتين، ما يَمحو سريعًا كل أثر للوظيفة ويدمرها.[9] أيضًا، يَتطلَّبُ

تحويل بروتين ذي بنية فراغية مميزة لآخر ذي وظيفة وبنية فراغية مختلفة كليًا تغيرات محددة في العديد من المواقع، وهو عدد أكبر ممَّا عمل أكس على تغييره في تجربته.[10] عدد التغييرات اللازمة لإنتاج طيَّة بروتينية جديدة عادة ما يتجاوز عدد التغيرات التي ستؤدِّي لخسارة الوظيفة. وبالنظر إلى ذلك فإنَّ احتمالية اجتياز العملية التطوُّرية بنجاح للأرض الجبلية من قمَّة وظيفية إلى أخرى –وتَتَجنبُ خلال هذا الانتقال أي خسارة وظيفية في أي خطوة تخطوها– تعتبر ضئيلة للغاية، مع احتمال تناقص الوظيفة بشكلٍ كبير أسّيًا مع كل تغيير إضافي مطلوب.[11] في الواقع، بتوضيح أنَّ هذه البروتينات الوظيفية ذات الطيَّات المتميزة أكثر حساسية بكثير لخسارة الوظيفة ممَّا افترضه سابقًا علماءُ البروتينات، تكون تجارب أكس قد أكَّدت ما ارتاب فيه معظمُ علماءِ البيولوجيا التطورية؛ أنَّ التطوُّر من بروتين إلى آخر –أو من جين وظيفي إلى أخرى– مستحيلٌ طالما أنَّ الطفرة والانتخاب الطبيعي هما المسؤولان عن إنتاج الطيَّة البروتينية الجديدة (الشكل ١٠–٣).

كانت لدى أكس أسباب أكثر جوهرية لاعتبار السيناريو التطوُّري الأول غير مقنع. فاعتمادًا على المبادئ الفيزيائية لوظيفة البروتين؛ فإنَّ النسبة العظمى من وظائف البروتين لا تَتَوافَّرُ في السلاسل البروتينية غير المنطوية فراغيًا. أي أنَّ ثبات البنية البروتينية هو شرط سابق لوظيفة البروتين. تسبب الطيأّت البروتينية غير المستقرة خسارة البنية ثلاثية الأبعاد للبروتين والمطلوبة لإنجاز المهام الوظيفية، أيضًا تجعل البروتين عرضة لهجمات البروتينات الأخرى المعروفة بالبروتيازات، والتي تَلتهِمُ البروتينات غير المنطوية أو عديدات الببتيد في الخلية.[12]

بمجرد تشوه بنية واحدة ستنتج تغيرات متسلسلة متعددة، وستفقد بالضرورة ثباتها البنيوي، ممَّا يؤدِّي لخسارة كارثية للوظيفة. كذلك فأي نقص في وظيفة

البروتين سيؤدِّي أيضًا إلى زوال الكفاءة بطريقة تعرض البروتين –والجين المسؤول عنه– للانتخاب الطبيعي المطهر.[13] الواقع أنَّه وفقًا لمعادلات الوراثة السكانية، وهي التعبير الرياضي المعياري لنظرية الداروينية الجديدة، فإنَّه حتى الخسارات الضئيلة في الكفاءة ستَجعلُ من الصفة الأقل كفاءة عرضة للانتخاب المطهر، وسيتم استبعادها. هذا يَعني أنَّه حتى بالنسبة للتسلسلات البروتينية المتعددة التي تَحتفظُ بأهميتها –رغم تناقصها– فإنَّ البروتين الخاص بوظيفتها الأصلية لن يَصمُدَ أمام غربلة آليات الداروينية الجديدة. بالتالي يكون التحول التدريجي من طيَّة وظيفية إلى أخرى هو انطلاق فاشل تمامًا.



الشكل (١٠–٣): يوضِّحُ هذا الشكل سبب رفض العديد من علماء البيولوجيا التطوُّرية فكرة تطوّر الجينات والبروتينات بموجب الانتخاب الطبيعي لجينات وبروتينات وظيفية جديدة. ذلك لأنَّ الجينات في السياق الجيني ستَفقِدُ الوظيفة –أو الكفاءة– بشكلٍ مُميت لها قبل الوصول إلى تسلسل وظيفي جديد بوقت طويل؛ تمامًا كالتغيرات العشوائية في الجمل الإنجليزية، والتي ستخرّب المعنى بشكلٍ كبير قبل أن ينتجَ التغيرُ عبارةً ذات معنى مختلف تمامًا.

أكَّد البحث الذي أجراه خبير البيولوجيا الجزيئية فرانسيسكو بلانكو في مُختبر البيولوجيا الجزيئية الأوروبي هذه النتيجة أيضًا، فباستخدام التطفير الموجه

نحو الموقع وجد فريق بلانكو أن حيِّزَ التسلسل الفاصل بين ميدانين بروتينيين طبيعيين غير مستمر، أي لا يَحوي بروتينات وظيفية مطويَّة فراغيًا. وبأخذ عينات من التسلسلات الواقعة بين هذين التسلسلين الوظيفيين، والتي لها طيَّات مختلفة خاصة، وجدَ بلانكو أنَّ التسلسلات الوسيطة تَفتقدُ البنية ثلاثية الأبعاد المحددة بشكلٍ جيد، فاستنتج أنَّ "ظهور تطوي جديد كليًا من تطوي سابق له بالتطور من خلال تسلسلات وسيطة أمر مستبعد". [14]

بالتالي، نستنتج من النتائج التجريبية ومن (فيزياء تطوي البروتينات) أنَّ البحث العشوائي عن البروتينات المبتكرة بدءًا من الجينات الموجودة سلفًا والتي تَرمز لبروتينات سيؤدِّي إلى ضياع في الوظيفة قبل الوصول إلى بروتين ذي تطوي فراغي جديد بكثير، وهو ما تَوقَّعه معظمُ علماء البيولوجيا الجزيئية. على الرغم من أنَّ السيناريو التطوّري الأول يَتميزُ بأنَّه يبدأ من فوق قمَّة جبلية –بروتين أو جين وظيفي–، إلا أنَّه يَحتوي على عيبٍ قاتل؛ وهو تقرير أنَّ التطفر العشوائي للجين سيزعزع استقرار البنية الفراغية البروتينية، معطيًا تسلسلات وبنى وسيطة غير وظيفية قبل الوصول لجين جديد قادر على توليد بروتين ذي تطوي مميّز بوقت طويل. لهذا السبب، لا يتضمَّنُ هذا السيناريو تسلقًا لجبل المستحيل، بقدر ما هو قفز من فوق وادي المستحيل.

تسلق جبل المستحيل

لهذه الأسباب مجتمعة ظنَّ أكس كغيره من خبراء البيولوجيا التطوُّرية أنَّ السيناريو الثاني من سيناريوهات الداروينية الجديدة –الذي تَبرز فيه الجينات والبروتينات الجديدة من مناطق محايدة غير وظيفية في الجينوم– يقدِّمُ وسائل أكثر

معقولية بكثير لإنتاج المعلومات الضرورية المكونة للطيات البروتينية المبتكرة. وهذا هو السيناريو الذي وجَّه أكس طاقاته البحثية له.

في هذا السيناريو يَتصور الداروينيون الجدد أنَّ المعلومات الوراثية تَنشأ في مواقع من النص الجيني يُمكنُ أن تتغير بحرية دون أن يكون لذلك أي تأثيرات على الكائن الحي. ووفقًا لهذا السيناريو فإنَّ الأجزاء غير المشفرة من الجينوم أو الأقسام المتضاعفة من المناطق المشفرة تَخضَعُ لفترة طويلة من (التطوُّر المحايد)[15]، الذي لا تؤثِّرُ فيه تغيرات النكليوتيدات بشكلٍ ملحوظ على كفاءة الكائن الحي. تَنشأ الجينات والبروتينات الوظيفية تدريجيًا من بطن الوادي غير الوظيفي وصولًا إلى قمَّة الجبل الوظيفية، مولِّدة جينات جديدة، ويَلعبُ الانتخاب الطبيعي دورًا، لكن ليس قبل ظهور الجين الجديد.

يُصوِّرُ علماءُ البيولوجيا التطورية هذه العملية في العادة ابتداءً من (حادثة تضاعف) لجين ما، فبالرغم من أنَّ العديد من الآليَّات المختلفة قادرة على توليد تضاعف في الـDNA [16]، إلا أنَّ الآلية الأكثر شيوعًا تَحدثُ خلال خطوة التعابر crossing-over في الانقسام المنصف الميوزي (meiosis) –أحد نوعي الانقسام الخلوي الذي ينتج الخلايا الجنسية أو الأعراس في الحيوانات المتكاثرة جنسيًا–. خلال الانقسام الميوزي تتبادل الصبغيات المتناظرة homologous قطعًا من الحمض النووي DNA. في خطوة التعابر العادية، يتمُّ تبادل نفس الحجم من القطع المتقابلة بين الصبغيات المتناظرة، ما يَضمنُ عدم حدوث أي زيادة أو نقصان في الجينات لأي من الصبغيين بعد العملية. لكن يحدث أحيانًا أن يَتبادلَ الصبغيان المتناظران قطعًا غير متكافئة الطول، فيَنتج صبغيٌّ فقدَ جزءًا من الـDNA –الصبغي الذي التقط قطعة أصغر من التي خرجت منه– وصبغيٌّ آخر استلم قطعة

أكبر من المادة الوراثية فربح تسلسلًا جديدًا من الـDNA الصبغي، هذا الجزء الفائض قد يَحتوي على جين أو أكثر يَكونُ لدى ذلك الصبغي نسخ موجودة سلفًا منها، مما يؤدِّي إلى تضاعف نسخ الجين على الصبغي.

عندما يَحدثُ هذا، قد يبدأ أحد الجينين بالتغاير -يَخضعُ للطفرات- دون أن تكون هناك آثار ضارة على وظيفة الكائن الحي، حيث يَقومُ الجين الآخر بالوظيفة. في اصطلاح لُغة البيولوجيا التطوُّرية، تكون التغيرات بالطفرات في الجينات المضاعفة محايدة انتخابيًّا؛ حيث لا تقدِّم في البداية أي ميزة أو عيب انتخابي للكائن أو الجماعة. تَسمحُ حوادث تضاعف المورثات هذه للطبيعة أن تجري اختبارات آمنة، يُمكنُها أن تمرِّر الابتكارات الجينية غير المفيدة وغير الضارة للأجيال القادمة، حيث ربَّما تحملُ (الطفرات الإضافية على المادة الوراثية الخاضعة للتطوُّر) في يوم من الأيام فائدة للكائن. في النهاية، وبتجمع الطفرات، قد يَظهر تسلسل جيني جديد في الكائن الحي الجديد، يكون مشفرًا لبنية فراغية ووظيفة جديدة في البروتين، عند هذه النقطة، يُمكنُ للانتخاب الطبيعي أن يختار الجين الجديد ومنتجه البروتيني ويحفظهما، ويمررهما للأجيال المستقبلية، ليستمر الأمر على هذا المنوال.

هذا السيناريو -الذي يُشيرُ إليه العديد من علماء البيولوجيا التطوُّرية الآن بالنموذج الكلاسيكي لتطور الجينات- ذو ميزة تَسمحُ لأجزاء من الجينوم بالتغير بحرية على عدة أجيال متعاقبة، ما يمنحُ الجينات المزيد من الفرص للبحث في حيّز التسلسلات دون الخضوع للعقوبة عند السقوط في الوادي بفقد أو تناقص الوظيفة.

لكن هذا السيناريو يواجه مشكلةً جوهرية؛ ألا وهي الندرة الشديدة في التسلسلات القادرة على تَشكيل طيَّات ثابتة والقيام بوظائف حيوية. ونظرًا لكون الانتخاب الطبيعي لا يُساعدُ في توليد الطيَّات الجديدة في التسلسلات الوظيفية، إنَّما يَحفظها فقط بمجرد ظهورها، فإنَّ الطفرات العشوائية وحدها يَجبُ أن تبحث عن الطيَّات والتسلسلات الوظيفية بالغة الندرة ضمن بحر واسع من التوليفات الممكنة.

هذه هي القصة الكبيرة المرتبطة بتجارب أكس، حيث أظهرت أبحاثه أنَّ التسلسلات الوظيفية المطويّة فراغيًّا من الأحماض الأمينية نادرة للغاية ضِمنَ حيز التسلسلات. بعد جولة أوليّة في تجاربه، قام أكس بسلسلة أخرى من تجارب التطفير الموجه نحو الموقع (site-directed mutagenesis) على ميدان تطوّي بروتيني مؤلف من ١٥٠ حمض أميني داخل أنزيم بيتا لاكتاماز، ونشرَ نتائج التجربة في مجلة البيولوجيا الجزيئية[17]، حيث تَذكُرُ أنَّ ميدان التطوّي هو جزء من بروتين أكبر يَدلُ على تطوّي مميز. نظرًا لحتمية تطوّي سلسلة الأحماض الأمينية أولًا في بنية ثابتة ثلاثية الأبعاد، قام أكس بتجاربه التي أتاحت له تقدير تكرارية التسلسلات التي تنتجُ طيّات ثابتة –أيًّا تكن–.

قبل أن يقدِّرَ أكس تكرارية التسلسلات التي تَقومُ بوظيفة (بيتا لاكتاماز الخاصة)، ساهمت طريقته التجريبية المحسنة في تقديم نتائج كمية دقيقة. قدَّرَ أكس:

(أ) عدد التسلسلات التي يَبلغُ طولها ١٥٠ حمض أميني، والقادرة على التطوّي –فراغيًّا– بشكلٍ ثابت وظيفيًا.

وقارنها مع؛

(ب) مجموعة كاملة من تسلسلات الأحماض الأمينية الممكنة بنفس الطول (راجع الشكل ٩-٣).

حدَّدَ أكس بناءً على تجاربه في التطفير الموجه نحو الموقع site-directed mutagenesis النسبة بينهما، وكانت صغيرة لأقصى حد؛ إذ بلغت نسبة التسلسلات القادرة على تشكيل طيَّات وظيفية ١ إلى ١٠ ^{74} من كامل التسلسلات. بعبارة أخرى، بالنسبة للتسلسلات التي يَبلغُ طولها ١٥٠ حمض أميني، فإنَّ هناك فقط ١ من أصل ١٠ ^{74} تسلسل قادر على التطوّي ليصبح بروتينًا ثابتًا!

يُعتبرُ تحقيق التسلسل لتطوّي البروتين هو الخطوة الأولى فحسب، مع أنَّ على البروتين أن ينطوي فراغيًّا ليصير وظيفيًا، لكن ليس بالضرورة لكل بروتين منطو فراغيًا أن يكون وظيفيًا. ورغم أنَّ التسلسلات القادرة على تشكيل طيَّات فراغية ثابتة ضرورية لأي ابتكار تطوُّري مهم، فإنَّ الانتخاب الطبيعي غير قادر على انتخاب وجود الطيَّات إلا إن كانت تؤدِّي وظيفة معينة تَمنحُ أفضلية خاصة للكائن الحي. لذا قام أكس أيضًا بتقدير:

- عدد البروتينات متواضعة الحجم -١٥٠ ثمالة- التي تَقومُ بوظيفة محددة بوجود أي بنية فراغية.

وقارنها مع؛

- مجموعة تسلسلات الأحماض الأمينية الممكنة بنفس الطول.

وبناءً على تجاربه والبيانات الموجودة حول عدد البروتينات ذات الطيَّات البروتينية الثابتة قدَّرَ أكس النسبة بـ(١ إلى ١٠^{77}). كانت النتيجة التالية لهذه البيانات التجريبية مهمَّة؛ إنَّ احتمال أي محاولة تطفرية لتوليد -أو العثور على- بروتين وظيفي محدَّد من بين كل التسلسلات الببتيدية المُمكنة بطول ١٥٠ ثمالة هو ١ إلى ١٠^{77}، أي أنَّ فرصتها بالصُدفة هي واحد في مئة ألف تريليون تريليون تريليون تريليون تريليون تريليون!

هذا الاحتمال صغير للغاية بكل وضوحٍ، لكن هل هو صغير بما يَكفي لتبرير رفض النموذج التقليدي لتطوُّر الجينات؟ أو هل من المعقول التفكير بأنَّ الطفرات العشوائية في الجزء غير الوظيفي من الجينوم سيتجاوز عقبة هذه الاحتمالات لتوليد المعلومات الجينية الضرورية لإنتاج تطوّي بروتيني جديد ذي وظيفة محددة يُمكنُ انتخابها؟

كم محاولة نحتاج؟

عندما يُقيّم العلماءُ أو خبراء الإحصاء فيما إن كانت فرضية الصدفة توفِّرُ شرحًا معقولًا لوقوعِ حدث ما، فإنَّهم لا يقيمون فقط احتمالية وقوع حدث محدَّد مرة، إنَّما يُقيمون احتمالية وقوع الحدث في عدد معلوم من الفرص.

على سبيل المثال، إن كان لدى سارق دراجتك المفترض -الذي تَكلمنا عنه في الفصل السابق- الوقت الكافي ليجرِّب أكثر من نصف التوليفات المُمكنة لأرقام قفل الدراجة الثلاثي -أكثر من ٥٠٠ من الاحتمالات الألف الموجودة-، عندها سيكون احتمال أن يَصِلَ السارق إلى التوليفة الصحيحة أكبر من احتمال

فشله، في هذه الحالة سيكون نجاحه في فتح القفل بالصدفة أعلى احتمالًا، هنا ستكون فرضية الصُدفة –أي فرضية أنَّه نَجح في فتح القفل بالصدفة– أكثر إقناعا.

من جهة أخرى، لو أنَّه بعدما بدأ محاولاته لفتح القفل بقليل سمع رجال الأمن يَتَّجهون نحو الزاوية التي يُمكنُ أن يرونه منها، فسيكون لديه وقت قليل يَكفي لتجريب عدد محدود من التوليفات الرقمية للقفل –أقل بكثير من النصف–، وسيكون من المحتمل جدًا أن يَفشلَ في فتح القفل بالصدفة. بالتالي، أي أحد يَعلمُ موقفه يَستطيعُ أن يَستنتجَ أنَّ فرضية الصدفة –في تلك الحالة– أقرب ما تكون للخطأ من الصواب.

عندما يُقيم العلماء أو خبراء الإحصاء احتمالية وقوع حدث بالصدفة، فإنَّهم يقيمون غالبًا ما يُعرف بالاحتمالية الشرطية conditional probability. وعند تقرير معقولية فرضية الصدفة، فإنَّهم يُقيمون احتمالية الحدث مشروطًا بوجود شيء آخر نَعلمه، وخصوصًا ما نعلمه عن عدد الفرص التي على الحدث أن يَقع ضمنها. كما يُشيرُ العلماء لعدد فرص وقوع حدث بالمعطيات الاحتمالية probabilistic resources.[18]

إن كانت الاحتمالية الشرطية لفرضية الصدفة –بوجود عدد من الفرص لوقوع الحدث– أقل من النصف، فسيكون من المُحتمل أكثر أنَّ الحدث لم يَقَع بطريق الصُدفة، وستظهر الفرضية على أنَّها بعيدةُ الاحتمالِ –وهي أقرب للخطأ منها للصواب–. وبالعكس، إن كانت الاحتمالية الشرطية لفرضية الصدفة –بوجود عدد من الفرص لوقوع الحدث– أكبر من النصف، فسيكون من المُحتمل أكثر أنَّ الحدثَ قد وقع بطريق الصُدفة، وستظهر الفرضية على أنَّها قويَّةُ الاحتمال –أقرب للصواب منها للخطأ–.

كيف لنا إذا أن نُقيمَ فرضية الصُدفة لأصل المعلومات الحيوية، خصوصًا فرضية أنَّ الطفرات العشوائية ولّدت المعلومات الضرورية لإنتاج طيَّات بروتينية مبتكرة ذات وظيفة قابلة للانتخاب؟ ما هي الاحتمالية الشرطية لأن يظهر هذا البروتين المنطوي فراغيًّا كنتيجة للطفرات العشوائية في الأجزاء المتضاعفة غير الوظيفية من الجينوم؟ أدركَ أكس أنَّه من أجل الإجابة عن هذا السؤال، فإنَّه يَحتاجُ لتقييم عدد فرص الطفرات العشوائية لإنتاج تطوي بروتيني جديد وذي وظيفة قابلة للانتخاب خلال التاريخ الطويل للحياة على الأرض.

حد الاحتمال البيولوجي العام

تُقدِّمُ النظرية التطوُّرية هنا الإجابة بنفسها. كان أكس مهتمًا بعدد المرات التي تتمكن فيها الطفرات من إنتاج تسلسلات جديدة من أسس الDNA المشفرة لتسلسلات جديدة من الأحماض الأمينية، والتي هي ١ إلى ١٠ ^{77} تسلسل مُحتمل في فضاء التسلسلات الموافق. لكن ليس كل تسلسل نكليوتيدي تستطيع الطفرات أن تولِّده يشكل جزءًا من التجربة. نظريًّا، قد تغير الطفرات جينًا عدة مرات خلال دورة حياة الكائن الحي، إلا أنَّ الانتخاب الطبيعي يَستطيعُ العمل فقط على التسلسلات النكليوتيدية الجديدة، التي انتقلت بالفعل إلى الأبناء. ربَّما يَبدو من الصعب تحديد عدد محاولات الطفرات في كل جيل، لكن حتى إن فكَّرنا في الطفرات التي تخلط بشكلٍ متكرر ترتيب الأسس خلال دورة حياة الكائن الحي، فإنَّ الطفرات في الجينات أو الDNA في الخلايا الجنسية للآباء هي وحدها التي يُمكنُ لها أن تنتقل إلى الجيل التالي. ولحاجة أكس لمعرفة عدد التسلسلات المبتكرة القادرة على توليد وظيفة قابلة للانتخاب والتي ربَّما ظَهرَت في تاريخ الحياة، فقد احتاج فقط للتقيد بالتسلسلات التي يُمكنُ أن تنتقل خلال عملية التناسل.

المقصود من ذلك، أنَّه إن كان قادرًا على تقييم العدد الكلي للكائنات الحيَّة التي عاشت على طول تاريخ الحياة على الأرض، وعدد الجينات الجديدة التي ربَّما أنتجتها الطفرات ومرَّرتها إلى الأجيال القادمة، عندها سيكون بمقدوره إثبات الحد الأعلى للمحاولات المرتبطة بالعملية التطوُّرية.

عَلِمَ أكس أنَّ الأحجام الضخمة لجماعات بدائيات النوى كالجراثيم تقلِّل إلى حدٍ كبير من أحجام جماعات الكائنات الحيَّة الأخرى مجتمعة؛ لذا فإنَّ تقدير حجم الجماعات الجرثومية سيُعطينا حجمًا تقريبيًّا لعدد الكائنات الحية في زمن ما. وبناء على متوسط العمر الذي يَعيشه الجيل الجرثومي، والوقت الذي ظَهَرت فيه الجراثيم لأول مرة على الأرض –٣.٨ مليار سنة–، قدَّرَ العلماءُ أنَّ عدد الكائنات الكلي بلغ ١٠^{40} كائن منذ فجر الحياة.[19] وضَعَ أكس افتراضًا أنَّ أي كائن حي جديد سيتلقى تسلسلًا جديدًا من الأسس –يُمكنُ أن يكون جين واحد– القادرة على توليد تسلسل واحد مُحتمل من تسلسلات الأحماض الأمينية في كل جيل.

وهذا افتراض كريم للغاية! حيث أنَّ معظمَ الخلايا الجرثومية تَرِثُ نفس النسخة من DNA أصلها، لأنَّ الطفرات يَجِبُ أن تكون نادرة جدًا حتى يَتَسنَّى للحياة أن تَستمرَ، أَضِف إلى ذلك أنَّ الجراثيم المغردة التي تَختلِفُ عن أصلها ستَحمِلُ غالبًا طفرات حَدَثَت مرات كثيرة سابقًا في خلايا أخرى. لهذه الأسباب فإنَّ العدد الحقيقي للتسلسلات الجديدة التي وجدت في تاريخ الحياة أقل بكثير من العدد الكلي للخلايا الجرثومية التي وجدت في يوم من الأيام. مع ذلك، افترض أكس أنَّ جينًا جديدًا لكل كائن حي انتقل إلى الجيل الذي يليه، لذا استخدم ١٠^{40} تسلسل جيني كتقدير متسامح للعدد الكلي من التسلسلات الجينية –المحاولات التطوُّرية– التي تولَّدت لسبر حيز التسلسلات عبر تاريخ الحياة كلها.

مع ذلك، يُمثِّلُ الرقم ١٠^{40} جزءًا صغيرًا فقط من النسبة المطلوبة؛ أي جزء من عشر تريليون تريليون تريليون من ١٠^{77}. لذا فإنَّ الاحتمالية الشرطية لتوليد تسلسل الجين القادر على إنتاج تطوّي بروتيني وظيفي جديد يَبقَى ١ في ١٠^{37}. وهذا يَعني أنَّه إن أنتج كل كائن حي منذ فجر الحياة –بالطفرة العشوائية– تسلسلًا جديدًا واحدًا من حيز التسلسلات، فإنَّ هذا سيَعني الوصول إلى التسلسل الوظيفي باحتمال ١ من ١٠ تريليون تريليون جزء من حيز التسلسلات ذاك، وهو الحيز الذي نَحتاجُ للبحث فيه. نظرًا لكون الاحتمالية الشرطية لظهور جين جديد بالطريقة التي يراها النموذج التقليدي أصغر بشكلٍ كبير من النصف، فإنَّنا نَستنتج أنَّ النموذج التقليدي أقرب للخطأ منه للصواب. لذا، استنتج أكس أنَّ الشخص المُتبع للمنطق سيرفضه. إنَّ المعطيات الاحتمالية المتاحة للنموذج التقليدي لتطوُّر الجين ببساطة أصغر بكثير من أن تتغلب على احتمال ١ من $١٠^{٧٧}$ (الشكل ١٠–٤).



FUNCTIONAL FOLDS OF A GIVEN LENGTH / NUMBER OF SEQUENCES OF A GIVEN LENGTH $= \frac{1}{10^{77}}$





NUMBER OF TRIALS, OR ORGANISMS IN THE HISTORY OF LIFE / NUMBER OF SEQUENCES TO BE SEARCHED $= \frac{10^{40}}{10^{77}}$



الشكل (١٠-٤): القسم الأعلى من الشكل يُمثِّلُ نتائج تجارب التطفير التي قام بها أكس. تَظهرُ الندرة الشديدة للبروتينات الوظيفية في حيز التسلسلات، وبناء على تجاربه قدَّرَ أكس وجود ١٠^{77} تسلسل مُحتمل يَتَوافق مع تسلسل محدَّد وظيفي طوله ١٥٠ حمض أميني. يُظهرُ القسم الثاني أنَّ التسلسلات الببتيدية الوظيفية نادرة للغاية. حتى مع الأخذ بالاعتبار العدد الكلي لفرص العملية التطورية لتوليد تسلسلات مبتكرة، بافتراض أنَّ كل كائن عاش على الأرض عبر تاريخها أنتج تسلسلًا واحدًا كل جيل.

لتقييم سبب فشل هذا النموذج انظر التوضيح التالي: بعد عام ١٩٧٥ أصبَح لفيلم الفك المفترس Jaws للمخرج Steven Spielberg تأثيرًا كبيرًا، إذ أعلن فندق صغير في بلدة صغيرة عن مسبح (خال من القرش)! يَرى أنصار السيناريو التطوُّري الثاني -تضاعف الجين متبوعًا بالتطور المحايد- أنَّ مسبح التطوُّر خال من المفترسات، أي خال من النتائج السلبية للطفرات الخطأ. لكن لتوسيع المثال، تخيَّل مسبحًا خاليًا من المفترسات بحجم مجرتنا، ثم تصوَّر رجلًا معصوب العينين يَسقطُ في وسط هذا المسبح، يَجبُ عليه أن يَسبحَ إلى أحد الجوانب البعيدة، إلى

نقطة عند حافة المسبح يوجد فيها السلم ليَخرج منه. لا تَنسَ أنَّه آمن من المفترسات، لكن هذا لا يَكفي ليكون بخير؛ إذ يَحتاجُ للاتجاه، ولطريقة يَعرفُ فيها مدى تقدُّمه، ولكمية هائلة من الوقت. لكنَّه لا يَمتلكُ أيًا من ذلك، لذا فإنَّه لن يَصِلَ إلى السلم ولو في غضون مئة سنة. بالمثل، في النموذج التقليدي من تطوُّر الجينات يَجبُ على الطفرات العشوائية أن تَضرِبَ ضربًا عشوائيًّا في فضاء واسع من الاحتمالات، وهو فضاء لا يَكفي استكشافه بهذه الطرق فترة تاريخ الحياة على الأرض، ناهيك عن عدة ملايين من السنين أدَّت للانفجار الكامبري.

بناء كائن حي

لا زالت حسابات أكس تُشيرُ فقط إلى عموم المشكلة التي تَكتنفُ النظرية الداروينية الجديدة. ولئلا يَسقط أكس في المبالغة باستحالة توليد طيَّة بروتينية جديدة، ركز على جانب واحد فقط من التحدِّي الذي يواجه النظرية الداروينية، إلا أنَّ النتائج التي تَوصل إليها قلَّلت إلى حدٍ كبير من استحالة بناء حيوان من العصر الكامبري. وهناك عدة أسباب لهذا:

أولًا، الانفجار الكامبري كما هو مؤرخ في السجل الأحفوري استغرق وقتًا أقلَّ بكثير من تاريخ الحياة الأرضية بالكامل (حوالي ٣.٨ مليار سنة).[20] وبالتالي يُوجد وقت أقل متاح للانتقال التطوُّري، هذا يَعني أجيالًا أقل من الكائنات الجديدة وفرصًا أقل لتوليد جينات جديدة بالبحث في حيِّز التسلسلات. ما يَجعلُ من الصعب توليد طيَّة بروتينية جديدة بالصُدفة في الوقت المتاح.

ثانيًا، تُعتبرُ الجراثيم هي النمط الأكثر شيوعًا للكائنات الحيَّة في تقييم أكس للعدد الكلي للكائنات الحيّة التي عاشَت على الأرض، لكن لا يظن أحد أنَّ

حيوانات العصر الكامبري قد تطوَّرت مباشرة من الجراثيم، كما لا يظن أحد أنَّ الأسلاف عديدي الخلايا المفترضين للأشكال الكامبرية كانوا بوفرة قريبة من وفرة الجماعات الجرثومية التي استخدمها أكس كأساس لتقييمه. التقدير الأكثر واقعية لعدد الأسلاف المحتملين سيكون بالضرورة عددًا أقل بكثير من عدد التسلسلات الجينية المتاحة عند سَبر حيّز التسلسلات -يَتَوافق ذلك مع بروتين واحد بطول معتدل في حيوان واحد من العصر الكامبري-. تذكر أنَّ احتمالية توليد جين واحدة فقط وفق تقديرات أكس لـ(طية بروتينية وظيفية جديدة) من كل الجراثيم والكائنات الأخرى التي عاشت يومًا ما على الأرض هو ١ إلى ١٠ تريليون تريليون تريليون. بالتالي، إنَّ آليَّة سَبر حيّز التسلسلات التي اعتبرها أكس غير معقولة بشدة هي في الحقيقة غير معقولة البتة كآلية لإنتاج الانفجار المعلوماتي الكامبري؛ بسبب وجود عدد من الكائنات متعددة الخلايا في العصر ما قبل الكامبري أقل بكثير من المجموع الكلي للكائنات الحيَّة على الأرض طوال تاريخها.

ثالثًا، يَتَطلَّب بناء أشكال حيوانية جديدة توليد أكثر من بروتين واحد معتدل الطول. ويُمكن أن تكون حيوانات العصر الكامبري قد تطلَّبت بروتينات أطول بكثير من ١٥٠ حمض أميني لتقوم بوظائفها الاختصاصية الضرورية.[21] مثلًا، وكما ذكرنا سابقًا، تَحتاجُ العديد من هذه الحيوانات الكامبرية البروتين المعقد المعروف بـ(ليزيل أوكسيداز) لتدعم بنيتها الجسدية المتينة، بالإضافة إلى الطيّة البروتينية المبتكرة. تتضمَّن هذه الجزيئات -في الكائنات الحيَّة- أكثر من ٤٠٠ تسلسل لأحماض أمينية محددة بدقَّة وغير متكررة، ويُشيرُ الاستقراء المنطقي لتجارب التطفير التي تجري على بروتينات قصيرة إلى استحالة إنتاج هذه التسلسلات البروتينية الوظيفية عشوائيًّا بهذا الطول في الواقع، خصوصًا إن أخذنا في الحسبان المعطيات الاحتمالية والمدة الزمنية للكون كله[٢٢].

تواجه آليتا الطفرات والانتخاب عقبات مشابهة؛ حيث أنَّ بُنى حيوانات العصر الكامبري تطلَّبت العديد من أنماط الخلايا، وكل منها تَحتاجُ لعدة بروتينات مبتكرة لتقوم بمهامها المتخصصة. لكن الأنماط الجديدة من الخلايا تتطلَّب أكثر من مجرد واحد أو اثنين من البروتينات الجديدة، تَتَطلَّبُ أنظمة بروتينية متناسقة لتقوم بوظائفها الخلوية المتميزة. إنَّ وحدة الانتخاب في مثل هذه الحالات تَرتَقي إلى مستوى النظام ككل –وليس البروتين فقط–، ويَقومُ الانتخاب الطبيعي باختيار الفوائد الوظيفية، لكن لا تُوجد هذه الفوائد في نمط خلوي جديد حتى يكون نظام الدعم البروتيني متوفِّرا. إلا أن هذا يَعني أنَّ الطفرات العشوائية يَجبُ –مرة أخرى– أن تَقومُ بمُهمة إيجاد المعلومات دون مساعدة الانتخاب الطبيعي، وليس لبروتين واحد فقط، إنَّما للعديد من البروتينات التي يجبُ أن تظهر سويّا. بالطبع فإنَّ فرصة حدوث هذا بالصُدفة أقل بكثير جدًا من فرص نشوء بروتين أو جين واحد بالصدفة، هذه الفرصة ضئيلة لدرجة تَجعلُ من إمكانية نشوء المعلومات المطلوبة لبناء نمط خلوي جديد أمرًا مستحيلًا، إن أخذنا بعين الاعتبار التقديرات الأكثر تفاؤلًا لطول فترة الانفجار الكامبري.

ذكرَ (ريتشارد دوكينز) أنَّ النظريات العلمية يُمكنُ أن تَعتمدَ بدرجةٍ كبيرة على "الكثير من الحظ" قبل زوال مصداقيتها.[23] إلا أنَّ السيناريو الثاني الذي يتضمَّن تضاعف الجين والتطور المحايد بعده –وبمنطقه الخاص- يَستثني الانتخاب الطبيعي من أن يَلعبَ دورًا في توليد المعلومات الجينية، حتى تُصبحَ قابلة للانتخاب. لذا، فإنَّها تَعتمدُ حقًا بالكلية على الكثير من الحظ. إنَّ (حساسية البروتينات لفقدان الوظيفة، وندرة البروتينات في حيِّز التسلسلات، والحاجة لبروتينات طويلة لبناء أنماط جديدة من الخلايا والحيوانات، والحاجة إلى أنظمة كاملة جديدة من البروتينات لتَدعم أنماط الخلايا الجديدة، وقِصر فترة الانفجار الكامبري مقارنة مع

نسب الطفرات) كل ذلك يَتَكاتفُ لتأكيد الاستحالة الهائلة لأي سيناريو تطوُّري عن أصل المعلومات الجينية الكامبرية يعتمد على الطفرات العشوائية وحدها غير مدعومة بالانتخاب الطبيعي.

مع ذلك فإنَّ النموذج التقليدي لتطوُّر الجينات -الذي يَعتمدُ على التطوُّر المحايد- يَتَطلَّبُ ظهور جينات وبروتينات جديدة -وتحديدًا- بالطفرات العشوائية وحدها. تَظهر الميزات التكيفية بعد ظهور جيل من الجينات والبروتينات الوظيفية الجديدة، ولا يَستطيعُ الانتخاب الطبيعي أن يَلعبَ أي دور حتى تَظهرَ الجزيئات الحاملة للمعلومات الوظيفية بشكلٍ مستقل. لذا، بالعودة إلى تَشبيه دوكينز، يَتَراءى لمُنظّري التطوُّر وجود حاجة لتدريج الوجه المنحدر للجرف الشاهق، الذي ليس له طريق خلفي متدرج، نظرًا لأنَّ الزيادة الأصغر في الابتكار البنيوي في تاريخ الحياة -طيَّة بروتينية جديدة- تُمثِّلُ بحد ذاتها جبلًا يستحيل تسلقه.

والشيء بالشيء يُذكر، تُظهِرُ تجربة أكس الأخيرة -التي توضِّحُ الندرة الشديدة للطيَّات البروتينية في حيِّز التسلسلات- أيضًا سبب تدمير التغيرات العشوائية لوظيفة الجينات الموجودة قبل أن تولّد طيّات أو وظائف مبتكرة -السيناريو الأول-، فإذا كان واحد من ١٠ ^{٧٧} من التسلسلات وظيفي، فإنَّ الجين الخاضع للتطوُّر سيصطدم بنهاية تطورية مميتة قبل أن يُصبحَ جينًا قادرًا على إنتاج طيَّة بروتينية جديدة. كما أنَّ الندرة الشديدة للطيَّة البروتينية تضمن عزلتها عن بعضها البعض في حيِّز التسلسلات.

(كاتش٢٢)[1] معضلة ليس لها حل

ألقت نتائج أكس الضوء على الورطة الكبيرة التي تَقبَعُ فيها الداروينية الجديدة، حيث إنَّها مثل الرواية الشهيرة (كاتش-٢٢) معضلة لا حل لها. فمن جهة، إن كان الانتخاب الطبيعي لا يَلعبُ أي دور في توليد الجينات الجديدة - كما تفترض فكرة الانتخاب المحايد- عندها يجب على الطفرات وحدها أن تَتَسلَّقَ جبل المستحيل بخطوة واحدة، وهو موقفٌ احتمالي لا يُمكنُ الدفاع عنه لا بنتائج أكس ولا بمنطق دوكينز. من جهة أخرى، سيواجه أي نموذج يَتَكلَّمُ عن أصل المعلومات الجينية ويَمنحُ الانتخاب الطبيعي دورًا محوريًّا -بافتراض الوجود السابق لجينات أو بروتينات تَخضعُ لضغط انتخابي- صعوبات مساوية لا يُمكن تفاديها. حيث ستمرُّ الجينات والبروتينات الخاضعة للتطوُّر عبر سلسلة من الأشكال المتوسطة الضارة أو غير الوظيفية، ولن يَقومَ الانتخاب الطبيعي باختيارها أو حفظها، لكنَّه سيقوم باستبعادها. في تلك المرحلة، سيَتَوقف التطوُّر الذي يَقوده الانتخاب، وتثبت البروتينات والجينات المتوفرة في مكانها.

بالتالي، فسواء رأينا أنَّ العمليةَ التطورية تَبدأُ بالجينات الوظيفية الموجودة سلفًا أم بمناطق غير مشفرة أو متضاعفة من الجينوم، فإنَّ نتائج تجارب التطفير تقدِّمُ تحدِّيًا كميًّا دقيقًا لفعالية آليات الداروينية الجديدة. والواقع أنَّ معرفتنا المتزايدة بندرة وانعزال البروتينات والجينات الوظيفية في فضاء الاحتمالات تَقتَضي أنَّ كل السيناريوهات الداروينية لإنتاج الجينات الجديدة غير منطقية على الإطلاق. لذا، فإنَّ الداروينية الجديدة لا يُمكِنُها تفسير الانفجار المعلوماتي الكامبري.

---

(١) رواية تاريخية للكاتب الأمريكي جوزيف هيلر. أدخل المصطلح (كاتش٢٢) إلى اللغة الإنجليزية ليشير إلى نوع من الألغاز المنطقية التي لا يوجد لها حل.

الفصل الحادي عشر

الكلام عن مورثة

الكلام عن مورثة

ما إن سمعت بنجاح دوجلاس أكس في الوصول لتقدير دقيق جدًا لندرة البروتينات حتى تساءلت مباشرة عن ردة فعل أنصار الداروينية الجديدة، ماذا عساهم يقولون بعد هذا العمل الدقيق من الناحية الرياضية والتجريبية، والمنشور في مجلة البيولوجيا الجزيئية Journal of Molecular Biology عام ٢٠٠٤ –الذي استنتج فيه ضآلة احتمال أن تَصِلَ الطفرات والانتقاء لجين مبتكر أو بروتين وظيفي–؟ هل سيقولون إنَّ احتمالية البحث الناجح عن جينات وبروتينات جديدة أعلى ممّا أشارت إليه تجارب أكس؟ أم سيقولون بوجود انحراف في طرائقه البحثية وحساباته، حيث لم يَصِل أحدٌ إلى نتائج مماثلة؟ لقد أكَّد بحث أكس تحاليل وتجارب أخرى، واستطاع هذا البحثُ تجاوز التَّدقيق الفاحص عند مراجعة الأقران، لذا لم تكن أيٌ من هذه الاحتمالات منطقية، إلا أنَّ المدافعين عن كفاية الآليات الداروينية الجديدة كانوا أبعد ما يكون عن إعلان استسلامهم كما سأُبين فيما يلي.

في نفس العام قُمتُ بنشر مقالة علمية ومحكّمة حول الانفجار الكامبري ومشكلة أصل المعلومات البيولوجية المطلوبة لتفسيره[1]، واستشهدت فيها بنتائج أكس وشَرحت لماذا تُشكّل ندرة البروتينات الوظيفية في فضاء التسلسلات تحديًا كبيرًا لكفاية الآليات الداروينية الجديدة. قد نُشرت الورقة البحثية في مجلة تَهتَمُ بالبيولوجيا، وهي وقائع الجمعية البيولوجية في واشنطن Proceedings of the Biological Society of Washington، التي يُصدرها معهد سميثسونيان، ويقوم عليها علماء يعملون في المتحف الوطني السميثسوني للتاريخ الطبيعي NMNH، حيث أثارت هذه المقالة عاصفة من الجدل لأنَّها تَضمَّنت ذكرًا لنظرية التصميم الذكي، وإمكانية إشراكها في تفسير أصل المعلومات البيولوجية (انظر الفصل ١٨).

كان علماءُ المتحف وخبراء البيولوجيا التطوُّرية في طول البلاد وعرضها غاضبين من المجلة ورئيس تحريرها ريتشارد ستيرنبرغ، لسماحه بتمرير هذه المقالة ليتمَّ تحكيمها من قبل الأقران ونشرها بعد ذلك. تَبِعَ ذلك اتهامات مضادة، حيث صادر مسؤولو المتحف مفاتيح ستيرنبرغ ومكتبه وحساب وصوله إلى النماذج العلمية scientific samples، وتمَّ نقله من مشرف صديق إلى مشرف عدو. بعد ذلك حقَّقت هيئة لأحد اللجان الفرعية في القضية، ووجدت أنَّ مسؤولي المتحف قد دشنوا حملة معلومات مضلِّلة مقصودة ضد ستيرنبرغ في محاولة لدفعه نحو الاستقالة، وقد روج منتقدوه إشاعات غير صحيحة مثل: "ليس لستيرنبرغ أي درجة علمية في البيولوجيا" بينما هو في الحقيقة حائز على شهادتي أستاذية PH.D إحداهما في البيولوجيا التطورية والأخرى في بيولوجيا الأنظمة، "هو قسيس وليس عالمًا" بينما هو في الواقع عالم وباحث وليس رجل دين، "إنَّه عضو فاعل في الحزب الجمهوري، ويعمل لصالح حملة جورج بوش" بينما هو في الحقيقة مشغول بالأبحاث العلمية وليس لديه ما يكفي من الوقت للانخراط في الحملات السياسية سواء كانت جمهورية أم غير ذلك، "تلقّى رشوة لينشر هذه المقالة" وهذا غير صحيح، إلى غير ذلك الكثير من الإشاعات. في النهاية، ورغم البطلان المؤكد لهذه الاتهامات، تمَّ إنزال رتبته.[٢]

ظهرت عناوين الأخبار التي تتكلَّمُ عن هذا الجدل في مجلات مثل العلم Science، والطبيعة Nature، والعالِم The Scientist، ومجلة وقائع التعليم العالي Chronicle of Higher Education.[٣] ثم ظهرت مقالات أخرى في الصحافة العامة مثل الـ(واشنطن بوست) و(وول ستريت جورنال)[٤]، وأذيع موضوع أساسي منها في الراديو الوطني العمومي[٥]، وظهر ستيرنبرغ بنفسه أيضًا في برنامج The O'Reilly Factor.

ورغم الصخب الشديد، إلا أنَّه لم يَكُن هناك ردٌّ علمي رسمي على المقالة بحد ذاتها يدحضها علميًّا لا في مجلة المحاضر ولا في أي مجلة علمية أخرى، وأصرَّ أعضاء مجلس الجمعية البيولوجية في واشنطن –الذين أشرفوا على نشر المجلة– أنَّهم لا يريدون الإجابة على المقالة؛ لئلا يقوموا بإضفاء طابع الشرعية عليها.

في النهاية، أخذ عالمان مدافعان عن سياسات التعليم العلمي وينتميان للمركز الوطني للتعليم العلمي –وهي مجموعة ضغط تسعى نحو تعليم التطور في المدارس العمومية– زمام المبادرة، وكتب المؤلفون الثلاثة –الجيولوجي Alan Gishlick، ومحامي سياسات التعليم Nicholas Matzke، وعالم بيولوجيا الحياة البرية Wesley R. Elsberry– ردًّا على مقالتي في موقع www.TalkReason.org وهو موقع إلحادي رائد[٦]، رغم أنَّ إرشادات الموقع تَمنعُ المهاجمة الشخصية (مغالطة الشخصنة) إلا أنَّ هذا القانون لم يَكُن لينطبق في حالة الردِّ الذي كتبه هؤلاء، والذي كان بعنوان (وحش ماير الميؤوس منه).

حاول هؤلاء الثلاثة دحض حجتي الأساسية بالاستشهاد بورقة علمية يقولون أنَّها حلَّت مشكلة أصل المعلومات الجينية، وكانت الورقة عبارة عن مراجعة علمية بعنوان (أصل الجينات الجديدة: لمحات من الماضي والحاضر)، ظهرت هذه الورقة في المراجعات الوراثية ضمن مجلة الطبيعة Nature Reviews Genetics لعام ٢٠٠٣، وأكَّد الثلاثة أنَّ هذه الورقة –التي قام بتأليفها عالم البيولوجيا الجزيئية من جامعة شيكاغو Manyuan Long بالمشاركة مع العديد من زملائه– "ممثلة وشاملة للمنشورات العلمية الموثقة حول أصل الجينات الجديدة".[٧]

ردَّد علماءُ بيولوجيا آخرون ادِّعاءات (جيشليك) و(ماتزكي) و(إلسبيري) في سياق جدالات عامة أخرى. وأثناء محكمة كيتزميلر ف. دوفر عام ٢٠٠٥ حول المحاولة البائسة لإلزام المعلمين في مدارس ولاية بنسلفانيا بقراءة بيان حول التصميم الذكي، استشهد البيولوجي من جامعة براون كينيث ميلر بورقة لونغ البحثية هذه في أثناء شهادته، وقال إنَّها تُظهِرُ كيفية تطور المعلومات الجينية الجديدة، واستشهد بعدها القاضي John E. Jones بشهادة ميلر حول مقالة لونغ في حكمه، وجزم القاضي جونز بوجود "أكثر من ثلاثين منشورًا علميًّا محكّمًا يُظهر أصل المعلومات الجينية الجديدة من خلال العمليات التطورية".[٨] في مكان آخر أعلن ماتزكي وعالم البيولوجيا باول جروس، أنَّ ورقة لونغ البحثية "انتقدت كل العمليات المعتمدة على الطفرات المشاركة في أصل الجينات الجديدة، ثم أدرجت عشرات من الأمثلة، التي قامت فيها المجموعات البحثية ببناء أصول لمثل هذه الجينات"[٩]، وهما يريان أنَّ "العلماء المختصون يعلمون كيف نشأت المعلومات الوراثية الجديدة".[١٠]

لكن هل يعلم حقًّا خبراء البيولوجيا التطورية ذلك؟

تعالوا نأخذ نظرة أقرب على المقالة التي ادَّعت أنَّها تُظهر "طريقة نشوء المعلومات الجينية الجديدة".[١١]

يُحكى أنَّ مورثة..

تُشيرُ مقالة لونغ، التي غالبًا ما يُستشهد بها، إلى عدة دراسات تهدف إلى شرح تطور جينات متعددة، تبدأ هذه الدراسات في العادة بأخذ جين والبحث بعد ذلك عن جينات أخرى مشابهة أو مناظرة homolog له، ثم تَبحثُ عن تاريخ

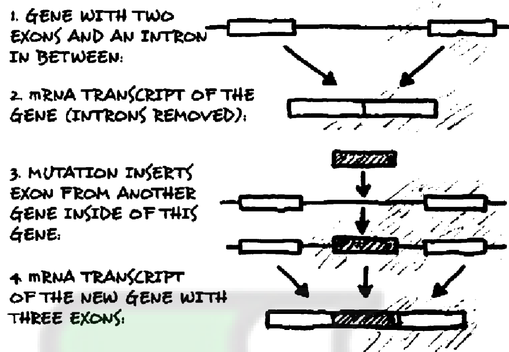
التغير الطفيف بين الجينتين المتناظرتين رجوعًا إلى الجين –أو الجينات– الموجودة في السلف المشترك المفترض، وللقيام بهذا تبحث الدراسة في قواعد بيانات التسلسلات الجينية؛ للوصول إلى التسلسلات الشبيهة في كائنات من مجموعات تصنيفية مختلفة –من أنواعٍ متقاربة الصلة غالبًا–. تُحاولُ بعض الدراسات أيضًا إثبات وجود الجين السلف المشترك على أساس الجينات المتشابهة ضمن نفس الكائن الحي، وتفترض هذه الدراسات بعد ذلك سيناريوهات تطورية تبدأ بتضاعف الجين المطلوب[١٢]، من ثم تُتَابعُ كل نسخة منهما تطورها بشكلٍ مختلف عن الأخرى نتيجة للطفرات التي ستحدث في كل نسخة، وستتضمَّن هذه السيناريوهات فيما يلي أنواعًا متعددة من الطفرات –حوادث التضاعف، خلط الإكسونات، عمليات إعادة التموضع قهقريًا retropositioning، النقل الجانبي lateral للجينات والطفرات النقطية الموافقة– بالإضافة لفعالية الانتقاء الطبيعي (الشكل ١١–١). يَفترضُ علماءُ البيولوجيا التطوُّرية القائمون على هذه الدراسات أنَّ الجينات الحديثة تظهر نتيجة للطفرات المتعددة هذه، وهي العمليات التي يرون أنَّها شكَّلت الجينات خلال تاريخ تطوري طويل.

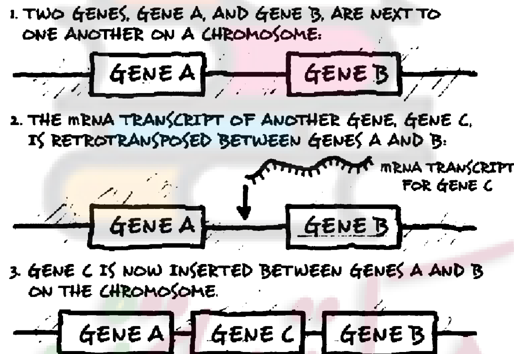
نظرًا لاختلاف المعلومات في الجينات الحديثة –فرضًا– عن المعلومات التي تَحملُها الجينات السلف المفترضة، فإنَّ هذه الدراسات تَعتَبِر آليات الطفرات –التي يُفترض أنَّها مسؤولة عن هذه الاختلافات– تفسيرًا لأصل المعلومات الوراثية.

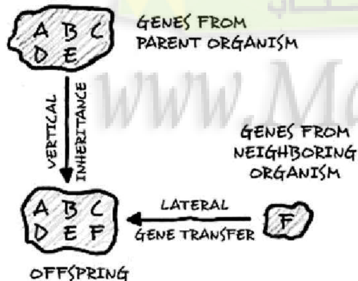
لكن عند الفحص الدقيق لا نَجِدُ أيًّا من هذه الأوراق المنشورة تُبين كيف قامت الجينات والانتقاء الطبيعي بإيجاد جينات أو بروتينات جديدة بالكلية من فضاء التسلسلات بالمرتبة الأولى، ولا تبين أنّ من المقبول –أو المحتمل منطقيًّا– أن تقوم هذه الآليات بذلك في الوقت المتاح أمامها، كما تفترض هذه الأوراق

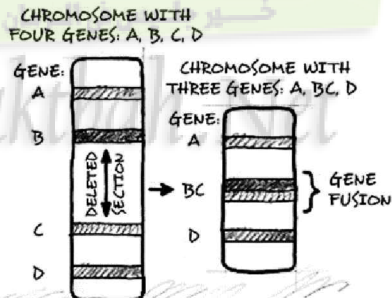
المنشورة وجود كمية مهمة من المعلومات الجينية المسبقة –الحقيقة أنَّها تَفترض العديد من الجينات الكاملة والمتفردة–، من ثم تَقتَرِحُ آليات متنوعة ربما تكون قامت بالتغيير التدريجي، أو دمج هذه الجينات ببعضها في جينات اندماجية أكبر. تقتفي هذه السيناريوهات في أحسن أحوالها تاريخ الجينات الموجودة مسبقا بدلًا من شرح نشوء الجينات الأصلية نفسها (الشكل ١١–٢).

يُمكن لهذا النوع من وضع السيناريوهات أن يُشيرَ إلى طرائق بحثية مثمرة إلى حدٍ كبير، إلا أننا سنقع في خطأ واضح لو اعتبرنا السيناريوهات الافتراضية كإثبات لحقيقة أو كتفسير كاف مكتمل. لا تثبت أي من السيناريوهات، التي استشهدت بها ورقة لونغ البحثية، الاحتمالية الرياضية أو التجريبية لآلية الطفرات التي يجزمون بأنها تفسر أصل الجينات، كما أنَّهم لم يلاحظوا بشكلٍ مباشر عمليات الطفرات المفترضة، وهي تَعملُ على التطور. إنما يُقدمون بدلًا عن ذلك – في أحسن الأحوال– بناءً افتراضيًّا مسبقًا لبضعة أحداث تنتج عن سلسلة من العديد من الأحداث المفترضة، بدءا من وجود الجين السلف المشترك المفترض. لكن هذا الجين ذاته لا يُمثلُ نقطة بيانية مؤكدة، بل يُشار له بأنَّه كان موجودًا على أساس التشابه بين جينين آخرين موجودين أو أكثر، وهي القطع الوحيدة الحقيقية للدليل المشاهد، الذي تُبنى عليه غالبًا هذه السيناريوهات الموضحة.

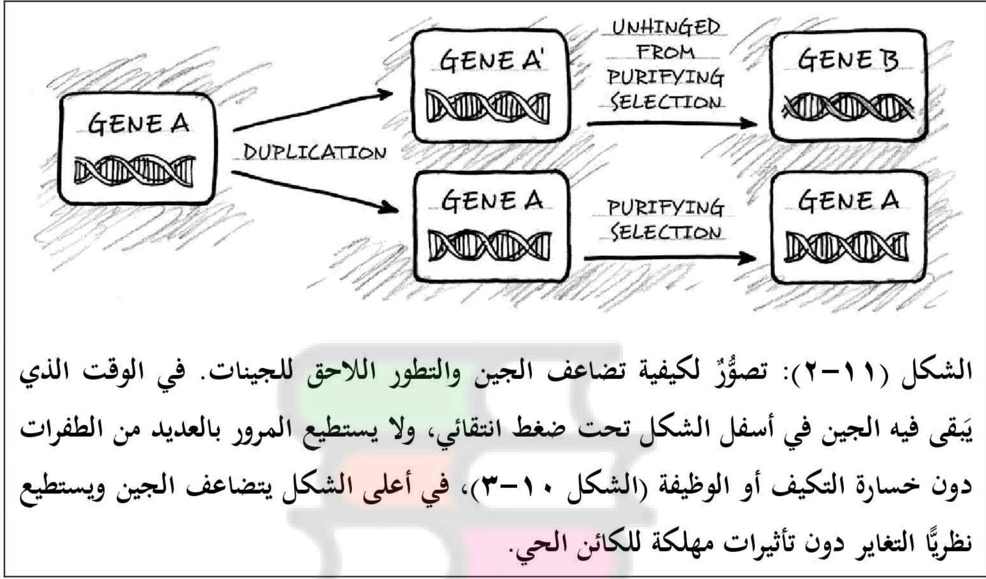








الشكل (١١-١): أنماط مختلفة من الطفرات التي يفترض أنَّها تسبب تغييرًا في الجينات: خلط للإكسون، إعادة تموضع قهقريًا، نقل جانبي للجينات، اندماج مورثي.



الشكل (١١-٢): تصوُّرٌ لكيفية تضاعف الجين والتطور اللاحق للجينات. في الوقت الذي يَبقى فيه الجين في أسفل الشكل تحت ضغط انتقائي، ولا يستطيع المرور بالعديد من الطفرات دون خسارة التكيف أو الوظيفة (الشكل ١٠-٣)، في أعلى الشكل يتضاعف الجين ويستطيع نظريًّا التغاير دون تأثيرات مهلكة للكائن الحي.

إنَّ اعتماد هذه السيناريوهات على استنتاجات وافتراضات لا يسقطها من الاعتبار بذاتها. مع ذلك، فإنَّ قدرة هذه السيناريوهات على تفسير أصل المعلومات الوراثية بشكلٍ كاف تَعتمدُ على وجود الدليل على الكينونات التي يلمحون إليها –الجينات السلفية–، ومعقولية آليات الطفرات التي يسلمون بها. ولنأخذ نظرة أعمق على كل من طرفي هذه السيناريوهات.

جينات أسلاف مشتركة؟

تبدأ كل السيناريوهات المقدمة في الأوراق التي استشهد بها لونغ بالإشارة إلى الجين السلف المشترك الذي يَتشعب، ويتطور منه جينان حديثان أو أكثر، تبحث هذه السيناريوهات تشابه التسلسل (المعلومة) في جينين أو أكثر، كدليل لا لبس فيه على الجين السلف المشترك (الشكل ١١-٢). كما ذكرت في الفصلين الخامس والسادس، فإنَّ الطرائق النموذجية لإعادة بناء التاريخ التطوري تفترض مسبقًا –بدلاً من أن تُثبت– أنَّ هذا التشابه البيولوجي ناجم عن جينات سلفية

مشتركة، مع ذلك –وكما رأينا في الفصل السادس– فإنَّ تشابه التسلسل وحده لا يُشيرُ دائما بشكلٍ قاطع للسلفية المشتركة، حيث تظهر التشابهات أحيانًا بين أنواع لا يُمكنُ تفسير التشابه بينها بالوراثة من سلف مشترك –مثل الأطراف الأمامية المتشابهة للخلد (آكل الحشرات) mole وحشرة الحراشة (صرصار الليل) mole cricket–، فهناك بكل تأكيد تفسيرات محتملة أخرى لهذا التشابه.

أوّلها، ربما تطورت الجينات المتشابهة بصورةٍ مستقلة في خطين سلاليين متوازيين بدءًا من جينين مختلفين، وهذا ما تجزم به فرضية التطور المتقارب convergent evolution. وهناك الكثير من الأمثلة على التطوُّر المتقارب للجينات في منشورات البيولوجيا التطورية والجزيئية[١٣]، فعلى سبيل المثال، اكتشف علماءُ البيولوجيا الجزيئية أنَّ كلا من الحيتان والخفافيش تستخدم أنظمة متشابهة لتحديد المواقع من خلال صدى الصوت، حيث تَشملُ جينات وبروتينات متشابهة، وقاد التشابه المذهل بين هذين النظامين المستخدمين في نوعين ثديين متفاوتين إلى اقتراح فكرة (التطور المتقارب) للنظامين من سلف مشترك لا يملك نظامًا مشابها، ويشمل هذا تسلسلات الجينات والبروتينات.[١٤]

أضف إلى ذلك، أنَّ من المحتمل أن تكون الجينات المتشابهة مصمَّمة بشكلٍ منفصل في كل كائن لتلبي حاجاته الوظيفية في كيانات حية مختلفة. بالنظر للقضية بهذه الطريقة، فإنَّ تشابه التسلسلات لا يعكس بالضرورة النشوء والارتقاء من سلف مشترك، إنما يعكس التصميمَ المتوافق مع الاعتبارات أو المحددات أو الأهداف الوظيفية المشتركة. أعرف بالتأكيد أنني حتى الآن لم أقدّم أيَّ أسباب مستقلة لأخذ فرضية التصميم بعين الاعتبار، كفرضية تفسر تشابه التسلسلات، لذا ربما تبدو نظرية التصميم الذكي غير مقنعة بعد (لمزيد من الأسباب المقنعة لأخذ

نظرية التصميم الذكي بعين الاعتبار انظر الفصول من ١٧ حتى ١٩). وبغض النظر عما سبق فقد ذكرت هذه التفسيرات الممكنة الأخرى لتشابه تسلسل الجينات من أجل إيضاح أنَّ تشابه التسلسل لا يشير بالضرورة إلى الجين السلف المشترك.

الجينات ذات إطار القراءة المفتوح

بالتأكيد لن يُمكنَ تفسير بعض الجينات وما تحويه من تسلسلات غنية بالمعلومات، في ضوء تلك السيناريوهات التي ذكرها لونغ في مقالته؛ حيث تحاول كافة هذه السيناريوهات أن تَشرحَ أصل جينين متشابهين بالإشارة إلى النشوء والارتقاء –عبر الطفرات– من جينات سلف مشترك، إلا أن الدراسات الجينومية الأخيرة في العديد من الكائنات الحية المتنوعة تظهر مئات –أو حتى آلاف– الجينات التي لا تدل على أي تشابه جوهري في التسلسل مع أي جين معروف آخر[١٥]، وتملأ هذه الجينات المقيَّدة تصنيفيًّا أو ما يعرف بـ(ORFans) –أو الجينات ذات إطار القراءة المفتوح ORF مجهولة المصدر open reading frames of unknown origin– الآن مشهد التاريخ التطوري. تظهر جينات ORFans في كل مجموعة رئيسية من الكائنات الحية، بما في ذلك النباتات والحيوانات بالإضافة إلى الكائنات وحيدة الخلية حقيقية النوى أو بدائية النوى، وتبلغ في بعض الكائنات الحية ما يُقارب نصف الجينوم.[١٦]

بالتالي، فحتى إذا كان يمكن الافتراض أنَّ التسلسلات الجينية المتشابهة تُشير دومًا للجين السلف المشترك، فإنَّ جينات (ORFans) هذه لا يمكن تفسيرها باستخدام سيناريوهاتٍ كتلك التي ذكرها لونغ في مقالته، ونظرا لافتقار تسلسل كل جين ORFans للتشابه مع أي جين آخر معروف –أي ليس لأي منها

نظير homolog حتى ولو في الأنواع البعيدة تطوريًّا– فإن من المستحيل معرفة الجين السلف المشترك الذي ربما يكون جين (ORFans) ونظيره (المفقود) قد تطور منه. تذكر أن جينات ORFans وفق تعريفها ليس لها نظائر homologs، وهذه الجينات متفردة –وحيدة من نوعها– وهو ما يعترف به ضمنيًّا أعداد متزايدة من علماء البيولوجيا التطورية، الذين حاولوا تفسير أصل مثل هذه الجينات بالنشوء من العدم de novo –من لا شيء–.

قد يجادل البعض بأنَّ علماء البيولوجيا يضعون خرائط التسلسلات لمزيد من الجينومات يومًا بعد يوم، ويضيفون المزيد من التسلسلات الجينية لقاعدة بيانات البروتينات، وسيتلاشى في النهاية الغموض المصاحب لظاهرة جينات ORFans، لكن مع ذلك، فحتى يومنا هذا تسير الأمور في الاتجاه المعاكس، إذ كلما استكشف العلماء مزيدًا من الجينومات ووضعوا خرائط لها اكتشفوا المزيد والمزيد من جينات ORFans دون أن يجدوا أعدادًا موافقة من الجينات المناظرة لها، بل تزداد أعداد جينات ORFans غير المقترنة بنظائرها، ولا إشارة لانعكاس هذه النزعة في النتائج.[١٧]

معقولية العمليات القائمة على الطفرات

حتى لو استطاع علماء البيولوجيا إثبات وجود الجينات السلف المشتركة التي تبدأ منها السيناريوهات المتخيلة، فإنَّ هذا لا يعني أنهم قد أثبتوا معقولية إنتاج آليات الداروينية الجديدة للمعلومات الجينية من ذلك السلف. وأيضًا، لكلمة "معقولية" في هذا السياق معنى هام ومحدد من الناحية العلمية والمنهجية، حيث تُظهر الدراسات في فلسفة العلم أنَّ التفسير الناجح في العلوم التاريخية كالبيولوجيا التطورية يَتطلَّبُ توفير تفسيرات "كافية سببيًا" –أي تفسيرات تذكر سببًا أو آلية

قادرة على إنتاج التأثير المدروس. يُحاولُ داروين في كتابه أصل الأنواع إظهار نظريته مستوفيةً لهذا الشرط، وهو المعيار الذي يُطلق عليه (السبب الحقيقي vera causa)، فقد سعى داروين في الفصل الثالث –على سبيل المثال– لإثبات الكفاية السببية للانتقاء الطبيعي باستنباط التشابهات بينه وبين عمليات تهجين الحيوانات، باستقراء الأمثلة المُشاهدة على التغيرات التطورية صغيرة النطاق في فترات زمنية قصيرة.

يقوم داروين في هذا المبدأ بإخضاع الاستدلال العلمي الذي استخدمه أحد المشاهير البارزين في علم الجيولوجيا (تشارلز ليل) للاستدلال على أحداث في الماضي السحيق، حيث أصرَّ ليل على أن التفسير الجيد لأصل السمات الجيولوجية يجب أن يذكر "الأسباب العاملة الآن" أي أسبابًا عُرف من التجربة المعاصرة قدرتها على إنتاج التأثيرات المدروسة.[١٨]

هل تلبي السيناريوهات التي اعتمدها علماء البيولوجيا التطورية وذكرتها مقالة لونغ هذا المعيار؟ يُشكِّلُ الانتقاء الطبيعي وطفرات التضاعف وغيرها من أنماط التغير العشوائي بالطفرات بكل وضوح "أسبابًا عاملة الآن"، ولا يماري أحد في ذلك. لكن هل ثَبتت قدرة هذه العمليات على إنتاج التأثيرات المطلوبة، أي المعلومات الوراثية الضرورية للابتكارات البنيوية في تاريخ الحياة؟ هناك الكثير من الأسباب الجيدة للتفكير بأنَّها عاجزة عن ذلك.

المصادرة على المطلوب

أولًا، تفترض معظم العمليات المعتمدة على الطفرات التي يتوسلها علماءُ البيولوجيا التطورية في السيناريوهات التي ذكرتها مقالة لونغ وجودًا مسبقًا لكميات مهمة من المعلومات الجينية في جينات أو مقاطع نموذجية من الحمض النووي

(DNA) أو الحمض النووي الريبوزي (RNA)، وتُلقي مقالة لونغ الضوء على الآليات السبع للطفرات، والتي تعمل على تشكيل الحمض النووي (DNA) الجديد:

(١) خلط الإكسونات.
(٢) تضاعف الجين.
(٣) إعادة التموضع قهقريا retropositioning لنسخ من الحمض النووي الريبوزي (RNA) المرسال.
(٤) النقل الجانبي للجينات.
(٥) نقل الوحدات أو العناصر الجينية المتحركة.
(٦) انصهار أو اندماج الجينات.
(٧) النشوء من العدم de novo (انظر الشكل ١١-١).

تبدأ كل واحدة من هذه الآليات –باستثناء النشوء من العدم– بجينات موجودة سلفًا أو مقاطع جاهزة مطولة من النص الجيني، تكون هذه المعلومات المحددة وظيفيًا –والموجودة سلفًا– كافية في بعض الأحيان لتشفير بناء بروتين كامل أو طيّة بروتينية متميزة. كما أنَّ هذه السيناريوهات لا تفترض مصادر موجودة سلفًا وغير مفسَّرة للمعلومات البيولوجية فقط، بل إنَّها تفترض ذلك دون شرح –أو حتى محاولة شرح– كيف حلَّت أي من هذه الآليات التي يتصورونها مشكلة البحث التوافقي combinatorial search في فضاء التسلسلات، والموصوف في الفصلين التاسع والعاشر. تُظهر لنا النظرة الأقرب لكل واحدة من هذه الآليات، كيف أنَّ السيناريوهات المعتمدة عليها تصادر على المطلوب في كثير من المناحي الهامة حول أصل المعلومات الجينية.

يرى أنصار خلط الإكسونات أنَّ المقاطع النموذجية من الجينوم مرتبة عشوائيًّا، وتُعيد ترتيب نفسها –عشوائيًا كذلك– لتوليد جينات جديدة، وليس هذا ببعيد عن إعادة ترتيب الفقرات ضمن مقالة لتوليد مقالة جديدة. يُشيرُ مصطلح إكسون إلى المناطق المشفرة للبروتينات من الجينوم –وذلك في الجينومات التي تَحوي مناطق مشفرة لبروتينات موزعة في مناطق غير مشفرة–، وتتخلل مناطق الجينوم المشفرة للبروتينات مقاطع أخرى غير مشفرة للبروتينات تُعرف غالبًا بـ(الإنترونات)، التي تقوم بوظائف أخرى؛ كتشفير جزيئات الحمض النووي الريبوزي (RNA) التنظيمية. على أيّة حال، تُخزِّن الإكسونات كميات مهمة من المعلومات المحددة وظيفيًّا والموجودة سلفًا.

رغم أنَّ معظم البروتينات مشفَّرة في العديد من الإكسونات، إلا أنَّ الإكسون الواحد ربما يقوم بتشفير وحدة جوهرية في بنية البروتين –مثل أحد طيات البروتين الوظيفية–، في الحقيقة، يَدَّعي أنصار فكرة خلط الجينات أنَّها تؤيدهم، لأنها تفسر برأيهم ظهور البروتينات الجديدة. ويفترض هؤلاء أن الإكسونات تخضع لخلط عشوائي أعمى لتشكيل جينات جديدة، إلا أنَّ هذه الآلية غير قادرة على إنتاج طيّات بروتينية جديدة، فإما أن يكون الإكسون كبيرًا لدرجةٍ أنه يقوم بتشفير طيّة بروتينية موجودة بالفعل –في هذه الحالة ليس هناك خلق للطية الجديدة–، أو يكون صغيرًا جدًا بما يستدعي تشارك عدة إكسونات للوصول إلى طيّة بروتينية ثابتة، وفي هذه الحالة الثانية تظهر بعض العوائق التي تَمنعُ نجاح المهمة –تحديدًا ما يدعى بتنافرات السلاسل الجانبية– كما سنرى.

تفترض سلفًا السيناريوهات التطورية التي تعتمد آليات الطفرات الأخرى وجودَ مصادرَ مهمة للمعلومات الجينية الموجودة مسبقًا، ويشمل تضاعف الجينات

–كما يوحي الاسم– إنتاج نسخة مضاعَفة من الجين الموجودة سلفًا تكون غنية بالمعلومات المحددة وظيفيّا. تحدث إعادة تموضع قهقريا Retropositioning للRNA المرسال لينحشر الDNA المعاد تشكيله منه في تسلسل DNA الجينوم مجددًا، ممَّا يؤدِّي لتضاعف الجزء المشفِّر من جين موجودة سلفًا، كما يتضمَّن نقل الجينات جانبيًّا نقل جين موجودة سلفًا من كائن حي –جرثوم عادة– إلى جينوم كائن حي آخر.

يَحدث نقل العناصر الجينية المتحركة بالمثل عندما يندرج جين موجودة مسبقًا في طاق حلقي (strand) من الحمض النووي (DNA) يعرف بالبلازميد، الذي يدخل إلى الكائن الحي الآخر ليندمج في الجينوم الجديد، تحدث هذه العملية بشكلٍ أساسي في الكائنات الحية وحيدة الخلية، يُمكن أن تَحدُثَ عملية مشابهة في حقيقيات النوى؛ حيث تقفز عناصر جينية متحركة تعرف بـ(ترانس_بوزون transposons)[١٩] –وتعرف أحيانًا بالجينات القافزة– من مكان إلى آخر في الجينوم. ويحدث الاندماج الجيني عندما ترتبط مورثتان موجودتان سلفًا –ويحوي كل منهما معلومات جينية محددة– بعد حادثة حذف للمادة الجينية التي كانت تفصل بينهما.[٢٠]

تفترض آليات الطفرات الستّ وجودًا سابقًا لوحدات جينية تحوي معلومات جينية محددة، كما تَعتمدُ بعض هذه الآليات أيضًا على وجود سابق لآلات جزيئية معقدة مثل أنزيم الناسخة العكسية reverse transcriptase المستخدم في آلية إعادة التموضع قهقريا retropositioning أو الآلات الخلوية المعقدة الأخرى المشاركة في تضاعف الحمض النووي (DNA)، ولما كان بناء هذه الآلات يَتطلَّبُ مصادر أخرى للمادة الوراثية، فإنَّ السيناريوهات التي تفترض مسبقًا توافر مثل هذه

الآلات الجزيئية لتساهم في قَطْع أجزاء وحدة المعلومات الموروثة أو تضفيرها splicing أو تموضعها، فإن هذا الافتراض يصادر على المطلوب بكل وضوح.

بشكلٍ عام، ما يُفكر به علماءُ الأحياء التطورية، يشبه محاولة إنتاج كتاب جديد بنسخ صفحات كتاب سابق –تضاعف الجينات، والنقل الجانبي للجينات، وانتقال العناصر الجينية المتحركة–، وإعادة ترتيب مقاطع النص في كل صفحة –خلط الإكسونات وإعادة التموضع قهقريا واندماج الجينات–، وإدخال أخطاء عشوائية في الكلمات على مستوى الأحرف في كل جزء من النص –الطفرات النقطية–، من ثم إعادة الترتيب العشوائي للصفحات الجديدة. والواضح أنَّ التغيرات العشوائية وإعادة الترتيب العشوائي لا يملكان أي فرصة واقعية لتوليد رائعة أدبية متميزة، ولا حتى توليد نص مترابط، يعني هذا أنَّه من المستبعد أن تولد هذه العمليات ترتيبًا وتسلسلًا محددًا، ولن تُحَل مشكلة البحث المُركّب في فضاء التسلسلات. على أي حال، تصادر كل تلك السيناريوهات على المطلوب، إذ أنَّ هناك فرق كبير بين الخلط أو التغيير التدريجي لنماذج التسلسلات الوظيفية الموجودة سلفًا –والحاوية على معلومات محددة–، وبين تفسير كيفية ظهور هذه النماذج وامتلاكها لتسلسلات غنية بالمعلومات في المقام الأول.

أهو تطور من العدم؟

الحقيقة أنَّ لونغ ذكر نمطًا واحدًا على الأقل من الطفرات التي لا تفترض وجودًا مسبقًا للمعلومات الوراثية، إنَّه نشوء الجينات الجديدة من العدم. مثلًا، تطلَّعت إحدى الأوراق التي أدرجها لونغ في مقالته، لتفسير أصل منطقة المعزاز promoter لإحدى الجينات –وهو جزء من الجين يُساعد على بدء انتساخ تعليمات الجين إلى الحمض النووي الريبوزي (RNA)– وانتهت إلى أنَّ "هذا

المكان التنظيمي غير الاعتيادي لم يتطور بما تعنيه كلمة تطور حرفيّا. بل ذكرت بدلًا من ذلك أنَّها: "تسلسلات بدائية ظهرت من العدم بالتموضع المتجاور للتسلسلات المناسبة بمحض الصدفة".[٢١]

توظف أوراق بحثية أخرى فكرة نشوء الجينات من العدم، إذ يذكر لونغ مثلًا دراسة تَسعى لتفسير أصل البروتين المضاد للتجمد في أسماك قارة القطب الجنوبي (أنتاركتيكا)، فاقتطع عبارة تقول أنَّ ما حدث هو: "تضخيم تسلسل قصير من الحمض النووي (DNA) لإنتاج بروتين جديد ذي وظيفة جديدة".[٢٢] كذلك استشهد لونغ بمقالة نشرت في مجلة Science ليفسر أصل مورثتين بشريتين مشاركتين في النمو العصبي عند الجنين، حيث عزت تلك المقالة أصلهما "لنشوء وحداتها البنائية من العدم، وهي جينات مفردة أو قطع مورثية تشفر ميادين البروتين domains"، حيث نشأ إكسون "تلقائيًّا من تسلسل فريد غير مشفر"[٢٣]، وتلجأ أوراق بحثية أخرى لأحكام مماثلة، إذ ذكرت إحدى المنشورات العلمية عام ٢٠٠٩ "نشوءًا من العدم لثلاث جينات بشرية على الأقل مشفرة لبروتينات منذ أن انفصل البشر عن الشمبانزي"؛ حيث لم يكن أي منهما مالكًا لتسلسلات مناظرة مشفرة للبروتين في مناطق أخرى من الجينوم.[٢٤] أعلنت نشرة علمية أحدث في مجلة PLoS Genetics أنَّ: "٦٠ جينًا مشفرًا لبروتينات جديدة نشأ من العدم في السلالة البشرية منذ أن انفصل البشر عن الشمبانزي"[٢٥] وهذا تقدير أعلى بكثير من التقديرات السابقة المتواضعة والمتحفظة باعتراف الجميع.[٢٦]

كما نُشرت ورقة أخرى عام ٢٠٠٩ في مجلة أبحاث الجينوم Genome Research بعنوان ملائم (الخيمياء الداروينية: جينات البشر انطلاقًا من RNA غير مشفر)، وحقَّقت هذه الورقة في نشوء الجينات من العدم، جاء فيها: "إنَّ ظهور

جينات وظيفية كاملة –تنتج بروتينات وظيفية ولها معززات promoters خاصة بها وإطار قراءة مفتوحة ORF لكل منها– من الحمض النووي (DNA) الخردة يبدو بعيد الاحتمال للغاية، يقارب احتمال تحول الرصاص إلى ذهب، وهو ما كان يبحث عنه خيميائيو القرون الوسطى".[٢٧] إلا أنَّ المقالة ألمحت إلى أنَّ "التطور بالانتقاء الطبيعي سيقوم بتشكيل عناصر جديدة كليًا من الحمض النووي (DNA) غير الوظيفي ظاهريًا، وهي العملية التي يحوّل بها التطور الجزيئي الرصاص إلى ذهب".[٢٨]

أجبَر وجود تسلسلات جينية متفردة الباحثين على استدعاء فكرة نشوء الجينات من العدم أكثر من الحد الذي يرغبون به، فبعد أن ذكرت دراسة على ذباب الفاكهة أنَّ "قرابة ١٢% من الجينات الجديدة ربما تكون ظهرت في جماعات ذبابة الفاكهة سوداء البطن Drosophila melanogaster بالنشوء من العدم؛ من تسلسلات الحمض النووي (DNA) غير المشفر"[٢٩] يَمضي المؤلف أبعد من ذلك ليعترف بأنَّ استدعاء هذه الآلية يَنطوي على مشكلةٍ عويصة للنظرية التطورية، لأنَّها لا تَشرحُ حقًا أصل أي من المتطلبات الجذرية للوظيفة.[٣٠] يَقترحُ المؤلفُ أنَّ (التكيف المسبق preadaptation) ربما لعب دورًا ما في القضية، لكن هذا لا يضيف شيئا مهما للتفسير؛ لأنَّه يُحدد فقط الزمان –قبل أن يَلعبَ الانتقاء دورًا– والمكان –في الحمض النووي (DNA) غير المشفر–، ولا يُفسِّرُ كيف ظهرت هذه الجينات أول مرة. ليس هناك أي تفاصيل تَشرحُ كيفية ظهور الجينات "المتكيفة سلفًا" مع وظيفة مستقبلية، والواقع يقول إنَّ علماء البيولوجيا التطورية يستخدمون مصطلح النشوء من العدم لوصف الزيادة غير المفسرة في المعلومات الجينية، ولا يشيرون إلى أيّة عملية معروفة للطفرات.

نلخص هنا ما سبق: إنَّ العديد من العمليات المعتمدة على الطفرات، والتي ذكرها لونغ في مقالته إما أن تكون:

(١) تصادر على المطلوب بما يَخصُّ أصل المعلومات المحددة المتضمَّنة في الجينات أو أجزاء الجينات.
(٢) تستدعي قفزات من العدم غير مفسرة بتاتًا؛ إذ هي بالأساس خلقٌ تطوري من العدم.

لذا نجد في النهاية أنَّ السيناريوهات المذكورة في مقالة لونغ لا تَشرحُ أصل المعلومات المحددة في الجينات أو أجزائها، بل قد يَتَطلَّبُ هذا مسببًا قادرًا على حل مشكلة التضخم التوافقي المذكورة في الفصول السابقة. لكن أيًّا من السيناريوهات التي ناقشتها مقالة لونغ لم تذكر هذه المشكلة، ناهيك عن إظهار المعقولية الرياضية للآليات المذكورة، مع ذلك نَجِدُ أنَّ كلًا من (غيشليك) و(ماتزكه) و(إلسبري) قد استشهدوا أصالة بمقالة لونغ كدحض حاسم لمقالتي – والتي جادلت فيها بأنَّ ندرة الجينات والبروتينات في فضاء الاحتمالات تُلقي شكوكًا على قدرة (الانتقاء) و(الطفرات) على توليد المعلومات الجينية الجديدة–. أدلى الأستاذ ميلر بشهادته في محكمة دوفر الشهيرة، وأقنع القاضي الفدرالي بالحكم بنجاح لونغ في إظهار كيفية نشوء المعلومات الجينية، وهو الحكم القضائي المشهور، لكن من الواضح أن أحدًا لا يَستطيعُ حلَّ معضلة أو تفنيد حجة بمجرد الفشل في تعريفها.[٣١]

الطيّات البروتينية:
سيناريوهات معقولة لكنّها غير ذات صلة بالقضية

هنالك مشكلة أخرى ذات علاقة وثيقة بالسيناريوهات التي ذكرها لونغ في مقالته، إذ أن هذه السيناريوهات لا تُحاولُ تفسير أصل الطيَّات البروتينية الجديدة، وقليل منها من يقوم بتحليل جينات متباينة كثيرًا عن بعضها لدرجة أن تكون منتجاتها البروتينية -ربما- ممثلة لطيات مختلفة، إذ تحاول هذه السيناريوهات عادةً أن تَشرحَ أصل الجينات المتناظرة homologous، وهي الجينات التي تنتج بروتينات ذات طيَّات بنيوية متشابهة وتقوم بنفس الوظيفة، أو أنها قريبة جدًا من بعضها.

على سبيل المثال، يَذكر لونغ دراسة تقارن مورثتي RNASE1 وRNASE1B واللتين تشفران لأنزيمين هاضمين متناظرين.[٣٢] يَقوم البروتينان بنفس المهمة تقريبا: تحطيم جزيئات الحمض النووي الريبوزي (RNA) في السبيل الهضمي عند قرود colobine الآكلة لأوراق النباتات، لكنْ هناك فرق محسوس في درجة الحموضة المثلى التي يَعملُ فيها كل منهما، والأهم من ذلك أنَّ تسلسلات الحموض الأمينية لهذين البروتينين متطابقة بنسبة ٩٣%، ويتوقَّعُ علماءُ البيولوجيا البنيوية أنَّ كلا الأنزيمين يَستخدمُ نفس الطيَّة البروتينية؛ لتحقيق المهام المنوطة بكل منهما.

كما أشار لونغ إلى دراسة مرجعية حول جين يشفر لأحد بروتينات الهيستونات Cid، في نوعين قريبين تطوريًا من ذبابات الفاكهة (ذبابة الفاكهة سوداء البطن Drosophila melanogaster) وقريبتها (Drosophila simulans). لا تحاول الدراسة تَفسير أصل الجين، بل إنَّها فقط قارنت الجين في كل من النوعين وسردت بعض الفروق الثانوية بينهما، ثم تساءلت عن كيفية ظهور هذه الفروق،

وحددت قرابة دزينتين من الفروق في النكليوتيدات في جين Cid بين كلا النوعين، منها ١٧ فقط سبَّبت تغيرًا في حمض أميني في تسلسل من ٢٢٦ حمض أميني في بروتين Cid.[٣٣] لن يؤدي هذا الفرق الضئيل (٧.٥ %) غالبًا لظهور طيَّات بروتينية جديدة، ويقول الواقع أنَّ التسلسلات الطبيعية المعروفة بامتلاكها طيَّات مختلفة لا تكون متطابقة بنسبة ٩٢.٥% على الإطلاق، بل إنَّ التسلسلات الطبيعية المعروفة بهذه الدرجة العالية من التطابق تملك نفس الطيَّات.

ذكر لونغ أيضًا، دراستين أخريين حول جين FOXP2، الذي يَعملُ في تنظيم التعبير الجيني عند البشر والشمبانزي والرئيسيات الأخرى والثدييات. يلعب هذا الجين دورًا في نماء الدماغ عند البشر وبقية الثدييات[٣٤]، مع ذلك تقول إحدى الدراسات أنَّ البروتين الذي يشفره هذا الجين عند البشر قد خضع لتغير حمضين أمينيين في السلالة البشرية[٣٥] خلال كامل عمره التطوري من السلف المشترك للشمبانزي والبشر. ونقول هنا مرة أخرى، أنَّ هذا العمر غير كاف لتوليد طيَّات بروتينية جديدة.

ذكرت مراجعة لونغ عددًا كبيرًا من سيناريوهات شبيهة –السيناريوهات التي تَسعى لتفسير تطوُّر التغايرات variants الجينية الطفيفة وبروتيناتها المتشابهة–، وليس نشوء الطيَّات البروتينية الجديدة. هذا فارق هام؛ لأن الطيَّات البروتينية الجديدة –كما رأينا في الفصل العاشر– تمثل الوحدة الانتقائية الأصغر للابتكارات البنيوية، وتَعتمِدُ عليها الابتكارات البنيوية الأكبر منها الموجودة في تاريخ الحياة. يتطلب تفسير أصل الابتكارات البنيوية أكثر من مجرد تفسير أصل الأشكال المتغايرة من نفس الجين والبروتين، أو حتى أصل الجينات الجديدة القادرة على تشفير الوظائف البروتينية الجديدة، إنه يتطلب إنتاج معلومات جينية كافية –جينات جديدة حقًا– لإنتاج طيَّات بروتينية جديدة.

لذا، حتى في الحالات التي تكون فيها هذه السيناريوهات معقولة، فإنها لا تكون ذات صلة بقضية نشوء المعلومات الوراثية الضرورية لإنتاج هذا النمط من الابتكارات البنيوية التي تحدث في الانفجار الكامبري -أو العديد من الأحداث الأخرى في تاريخ الحياة-.

الطيّات البروتينية: سيناريوهات ذات صلة بالقضية، لكنها غير معقولة

في بضعة حالات تبدو السيناريوهات التطوُّرية المذكورة في مقالة لونغ كأنها محاولات لتفسير الجينات المتباينة عن بعضها نوعًا ما، وأنَّها قادرة وبشكلٍ معقول على تشفير بروتينات تملك طيَّات متباينة. فعلى سبيل المثال، يُناقش لونغ الأوراق البحثية المتعددة، التي تساوي بين خلط الإكسونات وخلط الميادين البروتينية shuffling of protein domains. تذكّرْ أنَّ الميدان البروتيني هو بنية -أو طيَّة- بروتينية فراغية ثالثية مصنوعة من عدة بنى ثانوية أصغر كحلزّات ألفا أو صفائح بيتا (الشكل ١٠-٢). تملك العديد من البروتينات ميادين كثيرة، لكل منها بنية ثالثية أو تطوي فريد. يفترض أحد أشكال فرضية خلط الإكسونات أنَّ كل إكسون يشفر لميدان بروتيني محدد، وترى أنَّ القص والتضفير splicing العشوائي -الاستئصال excising والخلط وإعادة التأشيب recombination- للإكسونات من الجينوم سيؤدِّي إلى إعادة ترتيب مقاطع المعلومات الجينية. يشفر الجين الناتج المركب لبنية بروتينية جديدة. وكما يفترض لونغ: "يعيد خلط الإكسونات -وهو ما يعرف أيضًا بخلط الميادين- تأشيب التسلسلات التي تشفر للعديد من الميادين البروتينية لإنتاج بروتينات فسيفسائية".[٣٦]

ربما توفِّرُ آلية خلط الإكسونات –والفكرة المشابهة التي تقول بالاندماج الجيني– من بين الآليات التي ناقشها لونغ في مقالته الطريقةَ الأكثر معقولية لتوليد بروتينات جديدة (مركبة composite).[٣٧] إلا أنَّ قدرة خلط الإكسونات على تفسير أصل المعلومات الوراثية الضرورية لإنتاج طيَّات بروتينية جديدة –أو بروتينات كاملة مركبة– تطرح إشكاليات لعدة أسباب.

أولًا، يبدو أنَّ فرضية خلط الإكسونات تفترض أن كل إكسون –متورط في العملية– يشفر لميدان بروتيني ينطوي في بنية فراغية ثالثية مميزة، ويرى علماءُ البروتينات أنَّ الميدان البروتيني مساو للطيّة البروتينية، رغم احتمالية أن تتكون البُنى البروتينية المتميزة –الطيات– من عدة ميادين –أو طيات– أصغر. لذا فإنَّ فرضية خلط الإكسونات تفترض سلفًا –على أقل تقدير– وجود معلومات كافية لبناء ميدان بروتيني –أو طية– مستقلة. لذلك فإنَّها تَفشلُ في تفسير أصل الطيَّات البروتينية والمعلومات الضرورية لإنتاجها.

لكن قد يستخدم بعض أنصار خلط الإكسونات مصطلح (الميدان البروتيني) بطريقة أكثر غموضا، إذ ربما يساوون بين الميادين والوحدات البنيوية الأصغر كشدف الطيَّات المصنوعة من وحدات متعددة من البنى الثانوية كحلزات ألفا alpha helices أو صفائح بيتا beta strands، وعند النظر من هذه الزاوية نجد أنَّ فرضية خلط الإكسونات تستلزم بناء بنية بروتينية جديدة بدمج هذه الشدف الأصغر.

لكن في معظم الأحيان، إن قُطّعت سلاسل الحموض الأمينية المشكلة للميدان إلى شدف، فإنها لن تعود للاجتماع كما كانت بشكلها الأصلي، لكن

لماذا؟ لأنَّ الشكل ثلاثي الأبعاد لمقطع بروتيني صغير معتمد بشدة على البنية الكلية للبروتين وشكله الكامل. خذ قطعة أو شدفة من البروتين أو اصنع تلك الشدفة، فسوف ينتج لديك سلسلة أمينية مرنة -أي فقدت شكلها الأصلي أو قدرتها على تشكيل بنية ثابتة-. لذا فإنَّ هذا الشكل من فرضية (خلط الإكسونات) لا يَملكُ مصداقية؛ لأنَّه يَفترضُ خطأً أنَّ شدف البروتين فاقدة البنية الفراغية قادرة على الاختلاط بشكلٍ صحيح، وكأنَّها وحدات بناء لتشكيل طيات فراغية وظيفية جديدة وثابتة. أضف إلى ذلك، أنَّه حتى وإن كان هذا الخلط المادي معقولًا فإنَّ هذا الشكل من الفرضية سيواجه مشكلة أخرى، إذ إنَّه ما يزال يفترض سلفًا وجود معلومات وراثية غير مفسرة، وتحديدًا المعلومات الضرورية، التي لا تَصِفُ الشدف الصغيرة فقط، إنما أيضًا تلك المطلوبة لترتيب هذه الوحدات الصغيرة في طيَّات ثابتة، وصولًا إلى بروتينات وظيفية في النهاية.

ثانيًا، تَعْتبرُ فرضية خلط الإكسونات أنَّ أطراف الإكسون تتوافق مع حدود الميادين أو الطيَّات البروتينية، لأنها تفترض أنَّ كل إكسون يَخضعُ لعملية (الخلط) يشفرُ لميدان بروتيني محدد، ففي الجينات الموجودة لا تتوافق حدود الإكسون نمطيًّا مع حدود الميادين المنطوية في البروتينات الكبيرة.[38] لو فسَّر خلط الإكسونات كيف ظهرت البروتينات الحقيقية إلى الوجود، عندها سيكون لزاما أيضا أن تتوافق حدود الإكسون ضمن الجينات مع الميادين البروتينية في البنى المركبة الكبيرة -البروتينات الكاملة-، ويقترح غياب هذا التوافق أن خلط الإكسونات لا يفسِّرُ أصل البنى البروتينية المركبة المعروفة.

ثالثًا، هناك سبب آخر للاعتقاد بأنَّه من غير المقبول عقليًّا الاعتماد على خلط الإكسونات لترقيع الطيَّات البروتينية في بروتين جديد من وحدات بنيوية

بروتينية أصغر، ولنعرف ما هو هذا السبب، فإننا نحتاج لاختبار ماهية السلسلة الجانبية side chain. تملك الحموض الأمينية العشرون المشكِّلة للبروتينات عمودًا فقريًا مشتركًا مؤلفًا من الآزوت والكربون والأوكسجين، لكن كل واحدة منها تملك مجموعة كيميائية مختلفة تعرف بالسلسلة الجانبية والتي تشكل نتوءًا قائم الزاوية على ذلك العمود الفقري. تحدد التآثرات بين السلاسل الجانبية فيما إذا كانت وحدات البنية البروتينية الثانوية المصنوعة من سلاسل الحموض الأمينية ستندرج في طيات ثلاثية الأبعاد ثابتة وكبيرة.[٣٩] ورغم توليد العديد من التسلسلات المختلفة لِبنًى ثانوية –حلزات ألفا وصفائح بيتا– إلا أن توليد طيات ثابتة أصعب بكثير، ويتطلب الكثير من النوعية specificity في ترتيب الحموض الأمينية وسلاسلها الجانبية. تحديدًا، تكون العناصر في الوحدات البنيوية الثانوية الصغيرة في البروتين محاطة بالسلاسل الجانبية، لذا فإنَّها لا تتمكن من التراكب في طيات جديدة إلا في حال كانت لهذه العناصر سلاسل جانبية نوعية تكمل بعضها البعض[٤٠]، يعني هذا أنَّ الوحدات البنيوية الثانوية الأصغر نادرًا ما تندمج مع بعضها لتشكيل طيَّات أو بنى ثلاثية ثابتة. كذلك فإنَّ محاولات تشكيل طيات جديدة من وحدات بنيوية أصغر، تواجه دومًا تآثرات متنافرة بين السلاسل الجانبية للحموض الأمينية، بين وحدات البنية الثانوية.

إنَّ الحاجة للنوعية الشديدة في الترتيب التسلسلي للحموض الأمينية –الذي ناقشناه في الفصل السابق– يعني أنَّ الغالبية الساحقة من حالات دمج تسلسلات الحموض الأمينية –على مستوى البنية الثانوية– لن تَصِلَ إلى طيَّات ثابتة. وكما ناقشنا في الفصل العاشر، فإنَّ الندرة الشديدة للبروتينات الوظيفية (ذات الطيَّات الثابتة) في فضاء التسلسلات يَضمَنُ أن تكون الاحتمالية ضئيلة للغاية لإيجاد

تسلسل صحيح يَجعلُ من الطيَّة ثابتة. لهذا السبب يكافح أكثر علماء البروتينات مهارة من أجل تصميم تسلسلات تنتج طيات بروتينية ثابتة.[٤٢] تكاد تكون كل وحدات البنية الثانوية التي تحاول الانخراط مع غيرها في بنًى مركبة ثابتة غير قادرة على التطوي بسبب التآثرات بين السلاسل الجانبية للحموض الأمينية.[٤٣] وقد فسرت ذلك المختصة بالبيولوجيا الجزيئية آن غوجر بقولها: "لذا، فإنَّ حلزات ألفا وصفائح بيتا هي عناصر بنيوية معتمدة على تسلسلها ضمن الطيَّات البروتينية، فلا يمكن تبديل مواقعها كقطع لعبة تركيبية (ليغو)".[٤٤]

كما أنَّ من الصعب إيجاد تسلسلات مختلفة من الحموض الأمينية في الوحدات البنيوية الثانوية تقوم بتثبيت الطيات، يرجع ذلك للندرة الشديدة للتسلسلات الوظيفية –والمطوية– ضمن فضاء تسلسلات الحموض الأمينية. يتطلب توليد تسلسلات نوعية تنطوي في بنى ثابتة –سواء في المختبر أو في تاريخ الحياة– حلَّ مشكلة التضخم التوافقي، بل حتى الطيات الصغيرة تَتطلَّبُ خمس أو ست وحدات بنيوية ثانوية مؤلفة من ١٠ حموض أمينية أو قريبًا من ذلك –أي حوالي ٦٠ أو أكثر من الحموض الأمينية المرتبة بدقَّة–. تحتاج الطيات صغيرة الحجم دزينة أو أكثر من الوحدات البنيوية الثانوية وقرابة ١٥٠ إلى ٢٠٠ حمض أميني مرتبة لتثبيت الطية، وتحتاج الطيات الأكبر عددا أكبر من الوحدات البنيوية الثانوية والحموض الأمينية المرتبة بشكلٍ نوعي. على أية حال، تتطلب العديد من الوظائف التي لا غنى عنها لتقوم أبسط خلية بمهامها العديد من الطيَّات –١٥٠ حمض أميني على الأقل– تَعملُ مع بعضها بتناغم تام، لذلك لا يمكن تجنب الحاجة لإنتاج بروتينات بهذا الطول على الأقل مرات كثيرة عبر تاريخ الحياة.

يتطلب كل هذا بحثًا عن إبرة الوظيفة في كومة ضخمة من قش الاحتمالات التبادلية. تذكّرْ أنَّ (دوغلاس أكس) قيم نسبة إبر (التسلسلات الوظيفية) في عيدان القش في كومة (التسلسلات غير الوظيفية) بـ١ إلى ١٠ ^٧٧ من التسلسلات القصيرة -١٥٠ حمض أميني-.

من المؤكَّد في التسلسلات التي تنشأ طبيعيًا أنَّ التآثرات بين السلاسل الجانبية في وحدات بنية الثانوية تحافظ حقًا على الطيات ثابتة، لكن هذه البروتينات ذات البنى المنطوية ثلاثية الأبعاد تعتمد على تسلسلات شديدة الندرة ودقيقة الترتيب من الحموض الأمينية. والسؤال هنا ليس فيما إن كانت مشكلة (البحث التبادلي) الضرورية لإنتاج طيَّات بروتينية ثابتة قد حلت أو لا، إنَّما فيما إن كانت آليات الداروينية الحديثة المعتمدة على الطفرات العشوائية -الخلط العشوائي للإكسونات في هذه الحالة- توفِّر تفسيرًا معقولًا لكيفية حل هذه المشكلة.

لا تُعطي الأوراق البحثية التي استشهد بها لونغ في مراجعته أي سبب للتفكير بأنَّ خلط الإكسونات -أو أيّة آلية أخرى معتمدة على الطفرات- قد حل هذه المشكلة. تتجاهل فرضية خلط الإكسونات الحاجة لنوعية السلاسل الجانبية، رغم أنَّ الحاجة لمثل هذه النوعية قد أفشل مرارًا المحاولات المختبرية لتصنيع بروتينات جديدة من وحدات البنى الثانوية بالطريقة المطلوبة.

لكنّ مناصري خلط الإكسونات لا يقومون بأية محاولة لإظهار كيف أن إعادة ترتيب الميادين البروتينية -سواء اعتبرنا الميادين أجزاء من الطيَّات أم طيات كاملة- سيحل المشكلة التبادلية، ولا يواجهون تقديرات (ساور) أو (أكس) التجريبية

الكمية حول ندرة الجينات أو البروتينات الوظيفية، ولا يواجهون حسابات الاحتمالية المبنية على هذه التقديرات. كذلك لا يظهرون وجود آلية قادرة على البحث في فضاء تسلسلات الحموض الأمينية بفعالية وكفاءة أكبر من الطفرات العشوائية والانتقاء، ولا يثبتون فعالية خلط الإكسونات في نظام تجريبي في المختبر. بل على العكس تمامًا، تقتضي الاعتبارات الأساسية لبنية البروتين لامعقولية كون خلط الإكسونات هي طريقة توليد المعلومات الجينية الضرورية لإنتاج طيَّة بروتينية جديدة.[٤٥] لذا يصرُّ مناصرو خلط الإكسونات في النهاية بكلمات قليلة، وثقة ظاهرة –كما فعل لونغ في مراجعته– أنَّ خلط الإكسونات يُعيد غالبًا ترتيب التسلسلات التي تشفر للعديد من الميادين البروتينية لخلق بروتينات فسيفسائية.

سَلَطَة

يشوش تأكيد لونغ وزملائه على خلط الإكسونات –كالعديد من العبارات الأخرى حول الآليات المفترضة المعتمدة على الطفرات– التمييز بين النظرية والدليل. وبصرف النظر عن النبرة السلطوية في مثل هذه العبارات، إلا أنَّ علماءَ البيولوجيا التطورية نادرًا ما يلاحظون بشكلٍ مباشر العمليات المعتمدة على الطفرات التي يتخيلونها، لكنهم يَرون نماذج تشابُهٍ وتبايُنٍ في الجينات، من ثم يعزونها للعملية التي يفترضونها. إلا أنَّ الأوراق البحثية التي يَستشهدُ بها لونغ لا توفِّرُ إثباتًا رياضيّا، ولا دليلًا تجريبيًّا لقدرة هذه الآليات على إحداث زيادة مهمة في المعلومات الوراثية.

بغياب هذه الإثباتات يَستمرُ علماء البيولوجيا التطورية بعرض ما سماه أحد البيولوجيين الذين أعرفهم بـ"السَّلَطَة"؛ وهو اصطلاح يعني أنَّهم يعرضون أوصافًا مبهمة لأحداث الماضي غير المنظور، ربما يكون بعضها ممكنًا، لكنّ أيًّا منها لا يَملكُ قدرة مثبتة على توليد المعلومات الضرورية لإنتاج أشكال جديدة من الحياة. يتخيل هذا الضرب من المنشورات التطورية الإكسونات وكأن:

- جينات أخرى "تسخِّرها"[٤٦]، و/أو "تتبرع بها".[٤٧]
- تأتي من "مصادر مجهولة".[٤٨]
- تلجأ لـ"إعادة بناء مكثفة"[٤٩] للجينات.
- تعزو "التجاور التصادفي المناسب للتسلسلات"[٥٠] للطفرات أو لـ "الاستحواذ التصادفي"[٥١] على عناصر المعزاز promoter.
- تفترض أن "التغيرات الجذرية في بنية الجين راجعة للتطور السريع التكيفي".[٥٢]
- تؤكد على أن "الانتقاء الإيجابي لعب دورًا مهمًا في تطور الجينات"[٥٣]، حتى في الحالات التي تكون فيها وظيفة الجين المدروسة –وبالتالي الصفة التي يتم انتقاؤها– مجهولة كليًا.[٥٤]
- تتخيل الجينات نتيجة اجتماعها مع بعضها من قطع DNA ليس لها أي وظائف مترابطة –أو ليس لها أي وظيفة بتاتًا–.[٥٥]
- تفترض "خلق" إكسونات جديدة من تسلسلات جينومية متفردة غير مشفرة تطورت بالصدفة.[٥٦]
- تلجأ لفكرة "الاندماج الخيمري chimeric لمورثتين".[٥٧]
- تفسر البروتينات "شبه المتطابقة"[٥٨] في سلالات تطورية متفاوتة بكونها "حالة صادمة من التطور المتقارب".[٥٩]

• عند انعدام القدرة على تحديد أي مصدر مادي لتطور جين جديد فإنها تصرُّ على أنَّ "الجينات تظهر وتتطور بسرعة، بما يولد نسخًا تحمل تشابها قليلًا بأسلافها السابقة، لأنَّها قابلة للتطفر العالي hypermutable على ما يبدو".[٦٠]

• وفي النهاية، عندما يَفشلُ كل شيء، تستدعي هذه السيناريوهات "النشوء من العدم" للجينات الجديدة، كما لو أن تلك العبارة تختلف عن أي شيء مما ذكره الآخرون، كأنها مبنية على إثباتات علمية لقوة الآليات المعتمدة على الطفرات في إنتاج كميات مهمة من المعلومات الجينية الجديدة.[٦١]

لا تشابه هذه الروايات الغامضة شيئا أكثر من مشابهتها لألعاب الفلاسفة اللاهوتيين في العصور الوسطى:

• لمَ يَدفع الأفيون الناس للنوم؟ لاحتوائه على روح منومة.

• ما الذي يُسبِّبُ تطور الجينات بسرعة كبيرة؟ قدرتها العالية على التطفر، أو ربما لخضوعها لتطور تكيفي سريع.

• كيف نفسر أصل مورثتين متشابهتين في سلالتين منفصلتين متباينتين للغاية؟ إنه التطور المتقارب بالطبع.

• ما هو التطور المتغارب؟ هو وجود مورثتين متشابهتين في سلالتين منفصلتين متباينتين للغاية.

• كيف يحدث التطور المتغارب إن علمنا ضآلة احتمال وجود واحد من الجينات الوظيفية في فضاء التسلسلات الاحتمالي، ناهيك عن ظهور نفس الجين مرتين بشكلٍ مستقل؟ لا يعرف أحد ذلك على وجه الدقَّة، لكن ربما كان "التجاور التصادفي المناسب للتسلسلات" أو "الانتقاء الإيجابي" أو "النشوء من العدم".

• هل تريد تفسير وجود مورثتين متشابهتين في سلالتين قريبتين تطوريًّا؟ جرب "تضاعف الجين" أو "الاندماج المورثي الخيمري" أو "إعادة التموضع قهقريا" أو "إعادة الترتيب المكثفة للجينوم" أو.. أي تراكيب كلامية أخرى بظاهر علمي خادع.

تَطرحُ هذه السيناريوهات الغامضة أسئلة جدية حول قدرة العلماء على اعتبارها إثباتات أو نواقض حاسمة على أي شيء، ناهيك عن وجود دحض مبني على التجارب –ودقيق رياضيًّا– يتحدى الطفرات والانتقاء الطبيعي الموصوف في الفصل السابق.

لذا، رغم الإعلان الرسمي من المحكمة الاتحادية، وادِّعاءات "التوثيق المستفيض في المنشورات العلمية لأصل الجينات الجديدة"، إلا أنَّ علماءَ البيولوجيا التطورية لم يثبتوا كيفية ظهور المعلومات الوراثية الجديدة، على الأقل لم يفعلوا ذلك، بما يخصُّ الكميات الكافية منها لبناء الطيات البروتينية، التي هي الوحدات الرئيسية في الابتكار البيولوجي. لم يَصِل علماءُ البيولوجيا لحل مشكلة التضخم التبادلي أو لدحض الحجة الكمية الدقيقة، التي واجهت القوة الخلاقة لآليات الانتقاء والطفرات المذكورة في الفصل السابق –أو في مقالتي المنشورة عام ٢٠٠٤–. كما لم يُقدِّم أي منهم دحضًا مقنعًا لتقييم دوغلاس أكس لندرة الجينات والبروتينات التي اعتمدت عليها تلك الحجة.

للإنصاف، يَملكُ البيولوجيون أتباع الداروينية الحديثة نماذج رياضية من عمل أيديهم، وهي نماذج تُشيرُ إلى إمكانية حدوث تغيرات تطورية لا نهائية في الشروط الصحيحة. ولَّدَ افتراض دقَّة تمثيل هذه النماذج –والمبنية على معادلات علم الوراثة السكانية– لكمية التطور الممكنة ثقةً لدى علماء البيولوجيا التطورية بالقدرة

الخلاقة للآليات المتنوعة المعتمدة على الطفرات. لكن هل تَحِقُّ لهم تلك الثقة؟ سأناقش في الفصل التالي هذا السؤال وسأشرح سبب اطمئنان علماء البيولوجيا التطورية حتى الآن رغم التحديات الرياضية القائمة ضد الداروينية الحديثة. سأُبين أيضًا، كيف بدأ ذلك بالتغير مع ما وفرته التطورات في علوم الوراثة الجزيئية من تحديات رياضية مرعبة تواجه القدرة الخلاقة لآليات الداروينية الحديثة، وهو تحدٍّ ينشأ من داخل إطار الداروينية الحديثة، ويَطرحُ أسئلةً جديدة حول الكفاية السببية لآليات الداروينية الحديثة.

الفصل الثاني عشر

التكيفات المعقدة ورياضيات الداروينية الجديدة

التكيفات المعقدة
ورياضيات الداروينية الجديدة

عَرَفَ البيولوجي توم فرازيتا Tom Frazzetta من جامعة إيلينويس Illinois قصةَ الكتاب ككل الآخرين، فوفقًا للنظرية الداروينية الجديدة وُجدت الكائنات مع كل جملها المعقدة عبر الانتقاء الطبيعي، الذي يَعملُ على طفرات وتغايرات صغيرة النطاق تنشأ عشوائيًا، وحسبما فَهِمَ فرازيتا فإنَّ هذه الآلية التطورية تُحَول الكائنات بشكلٍ تدريجي وحتمي من خلال تعديلات مقسمة وموزعة على شكل حزم صغيرة "كنوعٍ من التغير المستمر، حيث تَنصهرُ حالة بنيوية تدريجيًّا لتعطي حالة أخرى".[١]

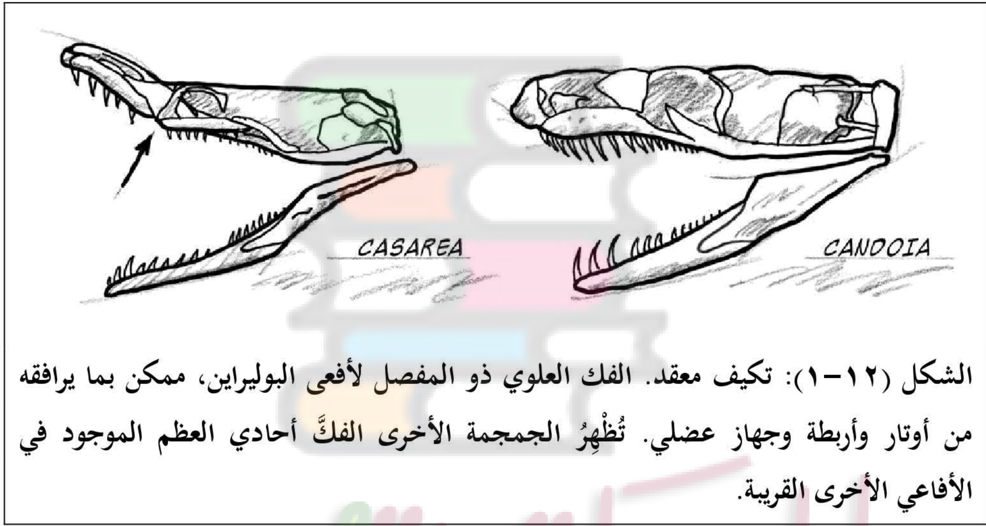
لكن راودت فرازيتا شكوك، فبصفته خبيرًا في الميكانيكا البيولوجية الوظيفية –أي دراسة كيفية عمل الحيوانات فعليًا– حلَّل فرازيتا جماجم أفاعٍ نادرة توجد فقط في جزيرة موريشيوس Mauritius في المحيط الهندي، تُدعَى هذه الأفاعي بوليراين bolyerines، وهي تشبه الأصَلة boa، لكنَّها تملك تخصصًا تشريحيًّا لا يوجد في الفقاريات الأخرى، حيث أنَّ عظم الفك العلوي –العظم الذي يَحملُ الأسنان العلوية– مقسوم إلى قطعتين موصولتين بمفصل مرن، ومزودتان بالعديد من الأعصاب المتخصصة، والعظام والنسج والأربطة الإضافية والمرتبة بشكل مختلف. تسمح هذه الصفة الفريدة للأفاعي بأن تحني نصف فكها العلوي إلى الخلف عندما تهاجم فريسة (الشكل ١٢-١).

هل يُمكن أن يتطور هذا النظام المعقد المؤلف من العظام والمفاصل والنسج والأربطة تدريجيّا؟ لاحظ فرازيتا بأنَّ "مفصلًا متحركًا يقسم الفك العلوي إلى قطعتين"، "فهو على ما يبدو إما أن يوجد أو لا يوجد، دون حالة وسيطة بين

الحالتين".[٢] أي أنَّ الفك العلوي يوجد كعظم واحد –كما يوجد في كل الفقاريات الأخرى– أو يوجد بشكل قطعتين مع كل ما يرافقها من مفاصل وعظام وأربطة ونسج ضرورية لعملها، كما في أفاعي البوليراين. أما الحالة الوسيطة –مثل فك علوي مكسور إلى قطعتين من العظم دون المفاصل والنسج والأربطة الضرورية– فهي غير قادرة على الحياة، وهو التساؤل عينه الذي طرحه ستفن جي غولد حول النظام نفسه: "كيف يمكن أن يكون عظم الفك مكسورًا إلى نصفين"[٣]، أو كما قال فرازيتا نفسه: "وجدتُ بالتالي أنَّ من الصعب تخيل انتقالٍ سلس من فك علوي واحد إلى الحالة المقسومة الملحوظة في البوليراين"[٤]، إذ أنَّ بناء فك البولراين يَتَطلَّبُ نشوء كل الأجزاء الضرورية سوية –الفك العلوي بمفاصله، والأربطة والعضلات والنسج المجاورة الضرورية–، لأن الأشكال الوسيطة لن تكون قادرة على الحياة.

أدرك فرازيتا أن المشكلة التي لا تزال تواجه النظرية الداروينية الجديدة تمتد إلى أمور أكبر بكثير من التخصصات التشريحية لأفاعٍ نادرة، فقد درس باعتباره أستاذًا شابًّا في البيولوجيا التطورية سمات معقدة لدى مجموعة كبيرة ومتنوعة من الأنواع، وعَرَفَ أنَّ أي بنية بيولوجية مهمة –الأذن الداخلية، البيضة السلوية، الأعضاء الشمية، العينين، الغلاصم، الرئتين، الريش، الأجهزة التكاثرية والدورانية والتنفسية– تمتلك مكونات ضرورية متعددة، وأن تغيير هذه الأنظمة يتطلب تبديل كل واحدة من الأجزاء العديدة المستقلة بناء على وظائفها، وهو ما لا يُمكنُ القيام به شئنا أم أبينا. فعلى سبيل المثال، إن تغيير أي من العظام الثلاثة للأذن الداخلية لدى الثدييات –السندان والركاب والمطرقة–، سيتطلب حتما تغييرات موافقة في العظام الأخرى وفي الأجزاء الأخرى من الأذن كذلك مثل غشاء الطبل أو القوقعة،

حيث تعتمد الأنظمة البيولوجية المعقدة في وظائفها على عشرات أو مئات الأجزاء المستقلة عن بعضها، لكن الضرورية لبعضها البعض، كما أنَّ زيادة عدد المكونات الضرورية يزيد من عدد التغييرات الموافقة المطلوبة أيضًا، مما يزيد بسرعة صعوبة الحفاظ على السلامة الوظيفية للنظام عند تعديل أيٍ من أجزائه.



الشكل (١٢-١): تكيف معقد. الفك العلوي ذو المفصل لأفعى البوليراين، ممكن بما يرافقه من أوتار وأربطة وجهاز عضلي. تُظْهِرُ الجمجمة الأخرى الفكَّ أحادي العظم الموجود في الأفاعي الأخرى القريبة.

هذه هي المشكلة التي أدركها فرازيتا؛ يَعتمدُ أي نظام في وظيفته على الفعل المتسق لأجزائه العديدة، ولن يتغير تدريجيًّا دون خسارة وظيفته، بينما في مخطط الداروينية الجديدة للأشياء نَجِدُ أن الانتقاء الطبيعي يعمل للحفاظ على الميزات الوظيفية فقط، ولن تُحفظ التغييرات التي تؤدِّي إلى الموت أو نقص الوظيفة. لذا فإنَّ التعقيد المتكامل للعديد من الأنظمة البيولوجية يَطرحُ عوائق على العملية التطورية، وهي عوائق لا يواجهها المهندسون البشر عند تصميمهم لأنظمة معقدة متكاملة. ترك فرازيتا في عام ١٩٧٥ أثرًا مكتوبًا تقليديًّا صغيرا بعنوان (التكيفات المعقدة في الجماعات المتطورة Complex Adaptations in Evolving Populations) شرح فيه هذه المشكلة، حيث كتب: "لا يلتزم المهندس عند

تعديل تصميم آلة بالإبقاء على الاستمرارية الحقيقية بين الآلة الأولى والمعدلة...، لكن في التطور، يَشملُ الانتقال من نمط إلى نمط تالي مفترض استمرارية هائلة بوساطة عدد كبير من الأنماط الوسيطة، فلا يجب أن يكون المنتج النهائي –الآلة النهائية– فقط ملائمًا، بل يجب أن تكون كل الوسائط كذلك، فالمشكلة التطورية –بتمثيل واقعي– هي التحسين التدريجي لآلة خلال عملها وتشغيلها".[٥]

حاول علماءُ البيولوجيا التطورية عبر التاريخ حل هذه المشكلة –مشكلة حصول تغاير أو طفرة واحدة مفيدة فقط في كل مرة– وكانت البداية من داروين نفسه، حيث حاول شرح الطريقة التي تُتيحُ للانتخاب الطبيعي والتغاير العشوائي أن يبني أنظمة معقدة، نتيجة سلسلة من التغيرات المتراكمة يمكن أن يمنح كل منها ميزة ما، ويمكن انتخابها بعد ذلك. استعمل داروين على نحو معروف هذه الاستراتيجية لتفسير أصل العين، حيث طلب من القارئ أن يتصور سلسلة من التغيرات المتراكمة المفيدة لعصب بسيط حساس للضوء.[٦]

لكن كلَّما فكَّرَ فرازيتا أكثر حول مشكلة تفسير نشوء الأنظمة المعقدة، شكك أكثر في التفسيرات الداروينية التقليدية والمعاصرة لهذه الأنظمة، واعترف بأنَّه قد تأثر بالشكوكية التي أبداها خبراء ويستار (انظر الفصل التاسع)، كذلك اعترف بأنه أظهر بعض المعلومات الشخصية المخبأة، مقرًّا بانجذابه للمخاوف التي تحوم حول الداروينية الجديدة، والتي عبر عنها Murray Eden وغيره من مشككي معهد ويستار.[٧]

كان قلق فرازيتا منصبًا على كفاءة الآلية الداروينية الجديدة، والتفت –مثل إيدن– إلى التقدير المتزايد لطبيعة المعلومات الوراثية وأهميتها. فرغم أنَّ البيولوجيين حينها –كما هو الحال الآن– لم يفهموا تمامًا كيف ترتبط المعلومات

الوراثية في الدنا أو "الخرائط" لهذه البنى ذات المستوى الأعلى من التعقيد المورفولوجي والشكلي، لكنهم عرفوا بحلول سنة ١٩٧٥ أنَّه يُمكنُ أن تضطلع مئات الجينات في ترميز بنية متكاملة معقدة واحدة، بالتالي فإنَّ تغيير البنية التشريحية لأذن الثدييات أو عين الفقاريات مثلًا، يجب أن يشتمل على تغيير الجينات التي ترمِّز مكوناتها، وذلك يقتضي أن تحصل عدة طفرات بشكلٍ متناسق وبوقت واحد معًا، لكن هذا أمر غير معقول.

أيضًا أوضح فرازيتا الأمر بقوله: "يتطلب تغيير النمط الظاهري للأنظمة المتكاملة حصول تعديلات جينية –بالتالي تعديلات موروثة في النمط الظاهري– ذات نوع محدد جدًا، وبالصدفة، وفي الوقت نفسه".[٨] لكن مع ذلك فإنَّ التخصص الفائق للمكونات لتناسب بعضها، والاعتماد الوظيفي للنظام الكامل على هذا التناسب يقتضي حدودًا للتغير الوراثي الجائز. كما سينتهي الأمرُ بفقدان الوظيفة والموت غالبًا عند حصول التغير الوراثي المؤثر على أحد المكونات الضرورية –مالم يكن متوافقًا مع العديد من التغييرات الجينية الموافقة–، وهذا بعيد الاحتمال. لذا استنتج فرازيتا: "إننا مازلنا نُعاني من الحاجة الملحة لتفسير التغيرات التطورية في الأنظمة ذات الخصائص العملياتية المتكاملة، التي تصورناها على أنَّها آلات".[٩] لم تجذب الشكوك التي عبر عنها فرازيتا في ذلك الوقت إلا انتباهًا قليلًا من مجتمع البيولوجيا التطورية؛ لأنَّ علماء البيولوجيا التطورية الداروينية الجديدة يفترضون بأنَّ للطفرات والانتقاء قوة إبداعية غير محدودة، وكافية حتى لتوليد أنظمة معقدة من النوع الموصوف في كتاب فرازيتا.

يبدو أن التعبير الرياضي عن النظرية الداروينية الجديدة كما ممثلًا بمعادلات علم الوراثة السكاني population genetics –منهج فرعي من البيولوجيا– يؤكد هذه القناعة. إذ يَضعُ علم الوراثة السكاني نماذج لكيفية تغير تواترات الجينات

نتيجة عمليات مثل الطفرات والجنوح الجيني genetic drift –التعديلات المحايدة في الجينوم والتي لا يُفضلها الانتقاء الطبيعي ولا يحذفها– والانتقاء الطبيعي. بافتراض أنَّ التغايرات أو الصفات المفيدة ستنشأ نتيجة طفرات مفردة، نجد النماذج الرياضية لعلم الوراثة السكاني تَصِفُ كمية التغير التطوري، الذي يُمكن أن يحصل في فترة زمنية معينة، وترتكز هذه التقديرات –من بين تقديرات أخرى– على ثلاثة عوامل أساسية:

- معدل الطفرات.
- حجم الجماعة الفعال.
- عمر الجيل.

عندما يَضعُ علماءُ البيولوجيا التطورية تقديرات لهذه العوامل في معادلات الوراثة السكانية، يبدو أنَّ حساباتهم توحي بأنَّ الآليات التطورية المعيارية يمكن أن تولّد كميات هامة من التغير التطوري في العديد من مجموعات الكائنات، بل وكافية لبناء أنظمة معقدة طالما أنَّ الطفرات تولد مخزونًا مستمرًا من الصفات الجديدة، ويمكن بناء أي نظام معقد بصفة واحدة كل مرة –تراكم الصفات– عبر القوة الإبداعية للانتخاب الطبيعي، أو كما تروي قصتهم.

قادت الثقة في هذه النماذج الرياضية –وما تفترضه– العديدَ من الداروِنيين الجدد إلى الاستخفاف بالحاجة لتفسيرات مفصلة للمسالك التطورية المحددة، التي يُمكنُ أن تنشأ من خلالها الأنظمة المعقدة. فمثلًا أوصى خبيرا البيولوجيا التطورية بول إرلِش Paul Ehrlich وريتشارد هولم Richard Holm بما يلي في نص بيولوجي تطوري درج استعماله بشكل كبير في الوقت الذي طرح فيه فرازيتا

لأول مرة هذا التحدي: "لا حاجة لنا في معرفة تفاصيل تطوُّر جناح الطيور أو عنق الزرافة أو عين الثدييات أو بناء العش لبعض الأسماك... إلخ، باعتبار أنَّه يمكن افتراض أن الأصول الانتقائية لهذه البنى والبنى الأخرى، بالإضافة لأصول الأنماط السلوكية، هي نفسها –بالمجمل– ما يحدث في حالة اسوداد الجلد الصناعي الذي ناقشناه قبل قليل، فحتى أي ميزة –أو سيئة– ضئيلة في تغير وراثي معين تقدِّم تمايزًا كافيًّا يَسمحُ بعمل الانتقاء الطبيعي".[١٠]

تشير الجملة "تمايزًا كافيًّا يسمح بعمل الانتقاء الطبيعي" إلى معادلات علم الوراثة السكاني، وإلى أحد العوامل التي تحدد مدى سرعة انتشار صفات معينة عبر جماعة ما –ويدعى أيضًا بمعامل الانتقاء–. كانت الرسالة واضحة: الرياضيات تخبرنا القصة، ولا يهمنا تفاصيل أصل الأنظمة المعقدة.

ساعد تركيز الداروينية الجديدة على النمذجة الرياضية في توضيح السبب خلف اطمئنان علماء البيولوجيا التطورية، حول مشكلة أصول الجينات والبروتينات الجديدة أو حول مشكلة التضخم التوافقي التي ناقشناها في الفصلين التاسع والعاشر، فقد افترض العديدُ من علماء البيولوجيا التطورية المعاصرين –مثل مؤسسي علم الوراثة السكاني– أنَّ هناك آلية ما لبناء جينات جديدة، كما افترضوا أيضًا إمكانية نشوء الصفات الجديدة –والجينات لبنائها– نتيجة طفرات مفردة أو سلسة من هذه الطفرات التي تمنح –لكل واحدة منها– ميزة صغيرة تراكمية قابلة للانتخاب، بالتالي يبدو أنَّ التعبير الرياضي للنظرية الداروينية الجديدة يُصدِّق على إمكانية حدوث التغيرات التطورية كبيرة النطاق، شريطة إمكانية حصول هذه التغيرات بشكل طفرة واحدة في كل مرة.

لكن ماذا إن كان من غير الممكن بناء الأنظمة في الكائنات الحية بعدة طفراتٍ متتالية -واحدة لكل مرة-، بل يَجِبُ بناء تغيرات متناسقة ومتزامنة بنفس الوقت؟ ماذا إن كان بناء جينة جديدة أو بروتين جديد مفرد يَتَطَلَّبُ تغيرات طفروية كهذه؟ ماذا إن تبيَّن أن الجينات المفردة ليست إلا تكيفات معقدة؟

قُدمت هذه المعضلات الرياضية الأولى من نوعها في معهد ويستار، وفاقمت الكشوفات التجريبية لدوغلاس أكس الشكوك، لكنَّها لم تبدد في البداية الثقة في كفاءة التفسيرات الداروينية الجديدة، فقد نظر العديدُ من علماء البيولوجيا التطورية إلى التحديات الرياضية التي تواجه القوة الإبداعية لآلية الداروينية الجديدة على أنَّها آتية من علماء ومهندسين في مجالات أخرى بمعظمهم، وعلى أنها دخيلة ولا صلة لها بالبيولوجيا التطورية.

بعد ذلك بدأت هذه النظرة تتغير، وبطريقة لم تُدخلْ فقط تحديًّا رياضيًّا جديدًا للقوة الإبداعية لآلية الداروينية الجديدة، بل أيضًا بطريقة تؤكِّد بشكلٍ غير مباشر رؤية أكس الأساسية حول ندرة الجينات والبروتينات. وقد كشفت التطورات في علم الوراثة الجزيئي وعلم الوراثة السكاني في العقد الأخير صلة بين مشكلة أصل الجينات والبروتينات الجديدة وأصل التكيفات المعقدة، وهي صلة أدركها أول مرة توم فرازيتا عام ١٩٧٥. بإدراك المزيد من البيولوجيين لهذه الصلة بدأوا أيضًا بمشاركة فرازيتا شكوكه.

علم الوراثة السكاني وأصل المعلومات الجينية

تمَّت صياغة النظرية التركيبية في الداروينية الجديدة قبل اكتشاف بنية الدنا، حيث لم يَكُن البيولوجيون في ذلك الوقت يفهمون طبيعة المعلومات الوراثية وبنيتها

وموضعها الدقيق[١١]، ولم يربطوا الجينات بسلاسل طويلة من الأسس النكليوتيدية التي تمتدُّ على طول العمود الفقري لجزيئة الدنا، ولم يفكروا بالجينات كقطع طويلة من الكود المرمّز والمخزن في جزيئات حيوية كبيرة معقدة، بل عرفت الجينات بعد مندل وقبل واطسون وكريك على أنَّها كيانات مرتبطة بالصبغيات، وتنتج صفات نوعية مرئية أو تشريحية قابلة للانتخاب، مثل لون العين أو شكل المنقار.

أعاد مهندسو الداروينية الجديدة في الثلاثينيات صياغة النظرية التطورية للتأكيد على أهمية الطفرات كمصدر للتغاير الوراثي، وهو ما أدَّى إلى إدراك أنَّ الطفرات –التي يُنظر إليها على أنها مصدر التغاير الموروث– يجب أن تعمل على الجينات. كما افترضوا دون معرفة طبيعة الجينات بأنَّ طفرة واحدة يُمكنُ أن تغير جينة بطريقة تنتج صفة جديدة.

تمَّ التنبؤ بمعادلات علم الوراثة السكاني بناءً على هذا الافتراض، فانبثق معدل الطفرات كعامل هام في حساب كمية التغير التطوري، الذي يمكن أن يحصل في مجتمع معين؛ حيث إذا كان بإمكان كل طفرة مفردة إنتاج صفة جديدة قد تكون قابلة للانتخاب، فسيُحدِّد معدل تراكم التغيرات جزئيًا كمية التغير الذي يُمكنُ أن يحصل في زمن معين.

بعد عام ١٩٥٣ لم يعد خبراء البيولوجيا يتخيلون الجينة على أنها كيان مجرد، فقد أظهر واطسون وكريك أن الجينة ذات موقع وبنية محددين، وأن الجينات المفردة تحتوي على مئات أو آلاف الأسس النكليوتيدية المتسلسلة بشكلٍ دقيق، يعمل كل منها كمِحرف في مجموعة تعليمات كبيرة، كما غَيَّرَ البيولوجيون فهمهم عن الطفرات أيضًا، حيث أدرك البيولوجيون أنَّ الطفرات شيءٌ كالأخطاء المطبعية في سلاسل طويلة من الكود الجيني. نتيجة ذلك بدأ العلماءُ

بإدراك ضآلة احتمال إنتاج الطفرات المفردة بمفردها صفات مفيدة جديدة، وأدرك بعض العلماء بدلًا من ذلك احتمال إفساد الطفرات الكبيرة للمعلومات التي تَحملها الجينة، وليس إنتاج وظيفة أو صفة جديدة، كذلك أنَّ تراكم الطفرات سيؤدِّي في النهاية إلى خسارة الوظيفة.

استدعى هذا التغير في المنظور وضع تفسير جديد لكيفية توليد الطفرات للجينات الجديدة، تفسير قُدّم في السبعينيات مع أفكار التضاعف الجيني والتطور المحايد الذي يتبعه والانتقاء الإيجابي.

رغم أنَّ نظرية التضاعف الجيني قد لعبت دورًا غير رسمي في البنية الرياضية لعلم الوراثة السكاني، إلا أنَّها دعمت الافتراض الخطير لكامل المشروع، فبعد الخمسينيات لم يعد يفترض علماء البيولوجيا التطورية أن طفرة مفردة ستولد بالضرورة صفات جديدة كليًا، وقد ترك هذا الافتراض علم الوراثة السكاني عرضة للهجوم، لكن بالنسبة للعديد من علماء البيولوجيا التطورية فقد سدت نظرية التضاعف الجيني هذه الفجوة في المفهوم، وبعد صياغة النظرية اعتقد العديد من علماء البيولوجيا التطورية بأنه قد تمَّ اكتشاف آلية يُمكن من خلالها لمقاطع من النص الوراثي أن تراكم عدة تغيرات دون الإخلال بسلامة الكائن، وبالتالي ضمان الإنتاج النهائي لجينات جديدة ومخزون ثابت من الصفات الجديدة.

لذا عندما واجه فرازيتا علماء البيولوجيا التطورية بمشكلة التكيفات المعقدة في منتصف السبعينيات، ما كانت ردة فعل الداروينيين الجدد منهم إلا التثاؤب الجماعي، هذا إن لاحظوا اعتراضه أصلًا، إذ لم يكن تحديه تحديًا على كل حال،

أو هذا ما اقتضته رياضيات علم الوراثة السكاني –طبعًا شريطة صحة افتراضها حول السهولة التي يمكن أن تولد بها الطفرات الجديدة صفاتٍ جديدة–.

لكن هل كان افتراضها صحيحًا؟ هل يمكن لسلسلة من الطفرات المفردة أن تولد جينات جديدة ضرورية لبناء بروتينات وصفات جديدة؟ أو هل يتطلَّب بناء الجينات طفرات متعددة متسقة؟

هل الجينات (تكيفات معقدة)؟

افترض علماء البيولوجيا الداروينيون أن تغيرات صغيرة منفصلة –من نمط خطوة بخطوة– يُمكنُ أن تنتج كل البنى والسمات البيولوجية، شريطة أن يَحملَ كل تغير ميزة للبقاء على قيد الحياة أو ميزة تكاثرية، وقد وصف عالمُ الوراثة البريطاني ويليام باتسون William Bateson بسخرية في فصله من كتاب (مقتطفات من داروين والعلم المعاصر) كيف منع هذا الافتراض المنتشر حول العالم من مواجهة الصعوبة الحقيقية في تفسير نشوء التكيفات المعقدة: "باقتراح أنَّ الخطوات التي تؤدِّي لنشوء آلية تكيفية هي خطوات غامضة ولا يمكن إدراكها، يمكن تجنب كل المشاكل الإضافية، حيث يُمكن القول بأنَّ الأنواع تنشأ عبر عملية ضئيلة من التغير لا يمكن إدراكها، ومن الواضح أنه لا فائدة من إتعاب أنفسنا في محاولة إدراك هذه العملية، فقد أسدت لنا هذه الحجة الموفرة للجهد معروفًا كبيرا".[١٢]

كان John Maynard Smith أول علماء البيولوجيا التطورية البارزين الذين أخذوا بالحسبان إمكانية حاجة بناء بروتينات وجينات جديدة عدة طفرات متسقة. عمل ماينارد سميث كمهندس طيران خلال الحرب العالمية الثانية، لكنه تابع دراسته السابقة في البيولوجيا التطورية بعد الحرب، وساعد في إيجاد جامعة Sussex، حيث عمل أيضًا كأستاذ بارز في البيولوجيا إلى منتصف الثمانينات.[١٣]

في عام ١٩٧٠، كتب مانارد سميث مقالة في دورية (نيتشر) استجابة لمقالة سابقة لفرانك ساليسبوري Frank Salisbury –بيولوجي من جامعة ولاية يوتاه–، أثار فيها ساليسبوري أسئلة عما إن كانت الطفرات العشوائية قادرة على تفسير نوعية ترتيب الأسس النكليوتيدية الضروري لإنتاج بروتينات وظيفية، فقد أقلق ساليسبوري –بعد مناقشات في ويستار– أنَّ احتمالية توليد الطفرات العشوائية لتسلسلات وظيفية من الأسس أو الحموض الأمينية منخفضة، بحيث لا يمكن اعتبارها. ووفقًا لحسابات ساليسبوري فإنَّ "الآلية المطفرة –كما نتصورها حاليا– قاصرة بمئات الأضعاف عن إنتاج حتى جينة مفردة مطلوبة في ٤ بلايين سنة كاملة".[١٤]

للتغلب على هذه الاستحالة، طَرحَ ماينارد سميث نموذجًا من التطور البروتيني، فعي حين اعترف بأنَّ أصل البروتينات الأولى يبقى لغزًا، إلا أنه اقترح بإمكانية أن يتطور بروتين واحد إلى بروتين آخر نتيجة تغيرات تراكمية صغيرة في تسلسلات الحموض الأمينية، شريطة أن يحافظ كل تسلسل على بعض الوظيفة في كل خطوة على طول الطريق. وقارن ماينارد سميث Maynard Smith التطور من بروتين إلى بروتين بتغيير حرف واحد في كلمة إنجليزية في ترتيب يولِّدُ كلمة مختلفة –في حين أنَّ كل خطوة تولد كلمة مختلفة لكنها ذات معنى–، كما استعمل هذا المثال لتمثيل فكرته عن كيفية عمل التطور البروتيني:

WORD → WORE → GORE → GONE → GENE

وشرح الأمر بالصورة التالية: "في هذا القياس تُمثل البروتينات بالكلمات، وتمثِّلُ الأحرفُ حموضًا أمينية، ويوافق تبديل حرف واحد الخطوة التطورية الأبسط، أي استبدال حمض أميني بحمض أميني آخر، ووجود المعنى في كل خطوة يماثل

أن تكون كل خطوة في التطور هي بروتين وظيفي، بحيث ينتقل من بروتين وظيفي إلى بروتين وظيفي آخر".[١٥]

وبكونه داروينيًّا عن قناعة –كما يُعبر عن نفسه– أدرك ماينارد قدرة الانتقاء الطبيعي والطفرات العشوائية على تشييد البنى البيولوجية الجديدة انطلاقًا من بنى موجودة سلفًا، إن امتلكت كل البنى الانتقالية على طول الطريق بعض المنفعة التكيفية، وظنَّ أن هذا الشرط ينطبق على تطور الجينات والبروتينات الجديدة بالمثل كما هو الحال في التطور الكبروي للخصال الظاهرية الجديدة أو البنى التشريحية.[١٦]

لكن الرمز الرقمي أو الحرفي الذي تُكتبُ به المعلومات الوراثية التي توجه اصطناع البروتين يَطرحُ مشكلة في وجه ماينارد سميث، فكيف يمكن لجينة واحدة أو بروتين واحد أن يتطور إلى آخر إذا تطلب هكذا انتقال عدة تغيرات متزامنة في وقت واحد في أسس النص الوراثي أو ترتيب الحموض الأمينية؟ إذا كان بناء جينات جديدة يتطلب عدة طفرات متسقة، فإنَّ احتمال توليد جينة أو بروتين جديد سينخفض بشكلٍ هائل، كما أن انتقال كهذا سيتطلب أكثر من حدث طفري واحد بعيد الاحتمال –اثنين أو ثلاثة أو أكثر– وتحصل حصرا في وقت واحد. لقد وصف المشكلة المحتملة بهذه الكلمات: "افترض أن هناك بروتينا ABCD، وأن البروتين abCD سيكون مفضلًا انتخابيًّا في حال نشوئه، وافترض أنَّ الوسائط aBCD وAbCD غير وظيفية؛ حيث تنشأ هذه الأشكال بالطفرة، لكن الانتقاء سيحذفها قبل أن تحصل الطفرة الثانية. بالتالي فإنَّ حصول الخطوة المضاعفة من abCD إلى ABCD بعيد الاحتمال جدًا".[١٧]

من وجهة نظر ماينارد سميث، تُشكل الاستحالة المرافقة لـ(الخطوة المضاعفة) أو الخطوة المتسقة متعددة الطفرات عائقًا كبيرًا أمام التطور الجزيئي، فقد خلص في النهاية إلى أنَّ هذه الطفرات مستحيلة، ويجب ألا يكون لها أي دور مهم في تطور البنى الجديدة، وكما قال: "قد تحصل هذه الخطوات المضاعفة... نادرًا، لكن احتمال حصولها نادرٌ جدًا بما لا يسمح بافتراض أهميتها في التطور".[١٨]

غاصت هذه المشكلة لعدة عقود في غياهب الغموض، كما أشار الكيميائي الحيوي آلين أور H. Allen Orr في العام ٢٠٠٥ في دورية نيتشر للمراجعات في علم الوراثة Nature Reviews Genetics: "رغم أنَّ عمل ماينارد سميث ظهر مبكرًا في الثورة الجزيئية، لكن أفكاره حول المشاكل التي تواجه التطور البروتيني واجهت التجاهل التام على مدى عقدين".[١٩] وعليه فقد قال أور بأنَّ علماء البيولوجيا التطورية قد توقفوا عن التفكير بالتطور الجزيئي على أنه نتيجة للتغيرات التكيفية على مستوى الحموض الأمينية، واستمر الأمر حتى العقد الأول من القرن الواحد العشرين. كما لم يواجه علماء البيولوجيا تحدي القيام بتحاليل كمية مكثفة لمعقولية التطور من بروتين إلى بروتين.

انتظار التكيفات المعقدة

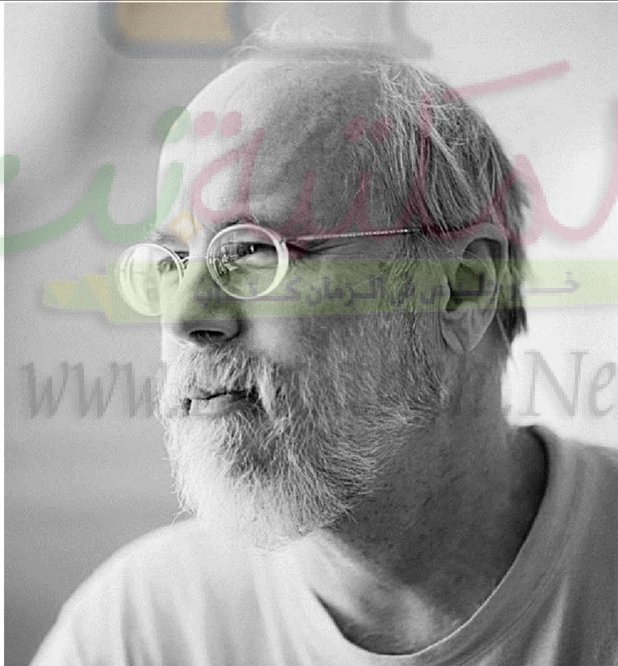
في عام ٢٠٠٤، نشرَ الكيميائي الحيوي مايكل بيهي Michael Behe (الشكل ١٢-٢) من جامعة ليهاي Lehigh –والذي عرفنا به باختصار في نهاية الفصل التاسع–، والفيزيائي من جامعة بيتسبورغ Pittsburgh ديفيد سنوك David Snoke ورقة علمية في دورية علم البروتين، والتي عادت للمشكلة التي وصفها

مايناردد سميث أول مرة.[20] فبحلول ذلك الوقت، نصَّب بيهي نفسه كناقد بارز للداروينية الجديدة عبر القول بأنَّ الآلية الداروينية لا تقدم تفسيرًا كافيًا لأصل الآلات الجزيئية "المعقدة بشكل غير قابل للاختزال" والمتكاملة وظيفيّا، وارتأى بيهي في ورقته العلمية عام ٢٠٠٤ أن يمدَّ نقده للداروينية الجديدة بتقييم كفاءتها كتفسير للجينات والبروتينات الجديدة، وقد حاول مع سنوك تقييم معقولية التطور البروتيني في حال تطلب في الواقع عدة طفرات متسقة، فطبقوا أنماط تحليل الداروينية الجديدة المعيارية المشتقة من علم الوراثة السكاني للقيام بذلك، ودرسوا معقولية النموذج الدارويني الجديد الأساسي للتطور الجيني، الذي يتصور فيه علماء البيولوجيا التطورية نشوء جينات جديدة عبر التضاعف الجيني والطفرات التالية له في النسخة الجديدة من الجينة.

قيَّم بيهي وسنوك معقولية هذا النموذج للكائنات متعددة الخلايا في حال كان يَجِبُ حصول عدة طفرات نقطية –اثنتان أو أكثر– بنفس الوقت لتوليد بروتين أو جين جديد قابل للانتخاب، إذ في الوقت الذي رأى فيه مايناردد سميث أنَّ الحاجة لعدة طفرات متسقة هو مشكلة محتملة، لكنَّها لا تستحقُ عناء علماء البيولوجيا التطورية، أصر بيهي وسنوك بحاجة علماء البيولوجيا التطورية للقلق من هذه المشكلة فقاما بقياس خطورتها.

لاحظ بيهي وسنوك في البداية أنَّ عدة بروتينات تتطلَّب كشرط لوظيفتها توليفة فريدة من الحموض الأمينية المتآثرة بطريقة متسقة. فمثلًا، بشكل نموذجي تتطلب مواقع ارتباط الروابط ligands على البروتينات –أي المكان الذي ترتبط به الجزيئات الصغيرة بالبروتينات الكبيرة لتشكيل معقدات وظيفية أكبر– توليفة من عدة حموض أمينية، وقد ناقش بيهي وسنوك بأنَّه في هذه الحالات ستنشأ توليفات

الحموض الأمينية بأسلوب متسق، طالما أنَّ قدرة ربط الربيطة تعتمد على وجود كل الحموض الأمينية الضرورية معًا، ودعمًا لهذا الاستنتاج استشهدا بكتاب موثوق بعنوان (التطور الجزيئي) الذي كتبه عالم البيولوجيا التطورية من جامعة شيكاغو Wen-Hsiung Li، حيث ذكر المؤلف فيه أنَّ قدرة البروتينات –مثل الهيموغلوبين– على ربط الربائط قد تتطلب أثناء تطورها "العديد من الخطوات الطفريّة"[٢١]، رغم أنَّ الخطوات الأولى في الطريق لبناء هذه القدرة لن تَمنَحَ أي ميزة انتخابية، وكما شرح لي: "قد يتطلَّبُ اكتساب وظيفة جديدة العديد من الخطوات الطفرية، ويجب التشديد على نقطة أنَّ الخطوات الأولى قد تكون محايدة اصطفائيًّا –غير مفيدة–؛ لأنَّ الوظيفة الجديدة قد لا تتجلى مالم يحصل عدد معين من الخطوات".[٢٢]



الشكل (١٢–٢): مايكل بيهي. بإذن من Laszlo Bencze.

أشار بيهي وسنوك إلى أنَّ هذه الملاحظة تقتضي عجز سلسلة من الطفرات المنفصلة عن توليد وظيفة "ربط الربيطة" في بروتين لا يملك هذه القدرة، طالما أنَّ التغيرات المفردة في الحموض الأمينية لن تقدم في البداية ميزة انتخابية للبروتين الفاقد لهذه الوظيفة، بل ستتطلب قدرة ربط الربائط عدة طفرات متسقة، وقد اقترح كل من بيهي وسنوك حجة مماثلة حول متطلبات تطور التفاعلات ما بين البروتينات، إذ ذكرا أنَّه لكي تتفاعل البروتينات مع بعضها البعض بطرق معينة، يجب أن توجد توليفة من عدة حموض أمينية على الأقل في كل بروتين منها، ومرة أخرى يُشيرُ ذلك إلى الحاجة إلى عدة طفرات متسقة.

تغيرات كثيرة جدًا، ووقت قليل للغاية

استعمل بيهي وسنوك مبادئ علم الوراثة السكاني لتقييم احتمال حصول أعداد مختلفة من التغيرات الطفرية المتسقة في فترة معينة من الزمن، وتساءلا: هل من المحتمل وجود زمن كاف في التاريخ التطوري لتوليد طفرات متسقة؟ وإن كان كذلك، فكم هو العدد المعقول توقعه من الطفرات المتسقة في فترة زمنية معينة ضمن حجوم الجماعات المختلفة ومعدلات الطفرات المختلفة وزمن الأجيال المختلف؟ من ثم قيّما المدة التي تستغرقها توليد طفرتين متسقتين أو ثلاثة أو أكثر ضمن توليفات مختلفة من هذه العوامل، وحددا أنَّ احتمالية نشوء طفرات متعددة عمومًا في تناسق قريب لبعضها البعض -ذات صلة وظيفيًّا- كان منخفضًا بشكل مانع، ومن المحتمل أن يأخذ وقتًا طويلًا جدًا، أطول بكثير من عمر الأرض.

(يانصيب الكرات) أصبح سهلًا بسبب علم الوراثة السكاني!

قبل المضي، ربما من المفيد فهم القليل عن كيفية استعمال معادلات ومبادئ علم الوراثة السكاني لحساب ما يدعوه علماء البيولوجيا التطورية بـ(أزمنة الانتظار waiting times)؛ وهو الزمن المتوقع الذي تستغرقه صفة معينة كي تنشأ بالعمليات التطورية المختلفة، صوَّر مايكل بيهي في كتابه حافة التطور هذه المبادئ، باستعمال قياس جميل بلعبة يانصيب الكرات التي تستعملها مجالس عدة ولايات أمريكية لربح النقود.

للربح في يانصيب الكرات، يجب أن يشتري المتنافسون تذاكر ذات ستة أرقام تطابق الأرقام المطبوعة على الطابات الستة النازلة من وعائين، تُحدد خمسة كرات من وعاء يحوي ٥٩ كرة بيضاء مرقمة من ١ إلى ٥٩، وتختار كرة سادسة حمراء –تدعى كرة القوة– من وعاء فيه ٣٥ كرة حمراء مرقمة من ١ إلى ٣٥، وللفوز بالجائزة الكبرى –التي يمكن أن تتجاوز ١٠٠ مليون دولار– يجب أن يشتري اللاعب تذكرة فيها كل الأرقام المختارة بغض النظر عن ترتيبها، ويحدد موقع اليانصيب على الإنترنت احتمال تطابق كل الكرات الستة بـ ١ من كل ١٧٥ مليون، وبناءً على عدد التذاكر المُباعة وعدد المرات التي يَحدثُ فيها السحب، فقد يستغرق الأمر وقتًا طويلًا حتى يربح الجائزة أحد ما.

طلب بيهي من قارئه أن يُفكِّرَ كم يستغرق من الزمن –في المتوسط– توليد بطاقة يانصيب بالأرقام الرابحة، وذكر أنَّ معرفة احتمال سحب هذه البطاقة الرابحة لا يكفي، بل يتطلَّبُ الحساب معرفة عدد المرات التي يحصل فيها السحب وكم هي عدد البطاقات المُباعة، وشرح بيهي قائلًا: "إذا كانت احتمالات الفوز واحد في مائة مليون وكان هناك مليون شخص يلعب كل مرة، فسيستغرق الأمر وسطيًّا مائة

سحب لكي يفوز شخص ما"، وإذا كان هناك مائة سحب بالسنة مع مليون شخص يلعب كل سحبة "فسيستغرق الأمر سنة كاملة كي يفوز شخص ما، لكن إذا كان هناك سحب واحد في السنة فقد يستغرق فوز شخص ما بالجائزة الكبرى قرنًا في المتوسط".[٢٣] فزيادة عدد مرات السحب ينتج أزمنة ربح أقصر، ونقص عدد مرات السحب يرجح أزمنة انتظار أطول. كذلك وبشكل مشابه، تؤدي زيادة اللاعبين لإنقاص الزمن الوسطي الضروري لإنتاج فائز، في حين أنَّ قلة عدد اللاعبين يُنتجُ أزمنة انتظار أطول.

تطبق مبادئ رياضية مشابهة عند حساب أزمنة الانتظار المتوقعة لتطور سمات بيولوجية بالطفرة والانتقاء، ويحتاج البيولوجيون بداية إلى تقييم تعقيد المنظومة المدروسة –أو العكس، مقدار لا احتمالية حصول السمة–، لكن كما في يانصيب الكرات فإنَّ معرفة احتمال حدث بنفسه لا يسمح للمرء بحساب المدة التي سيستغرقها هذا الحدث ليحصل، بل يتطلب هذا الحساب أيضًا معرفة حجم الجماعة –بشكلٍ مكافئ لعددِ الأشخاص الذين يلعبون–، وعدد مرات نشوء تسلسلات جينية جديدة –تكافئ عدد مرات السحب–.

في يانصيب الكرات ينشأ تسلسل جديد من الأرقام كل سحبة، لكن عندما تتكاثر الكائنات فإنها لا تولِّدُ دائمًا تسلسلًا جديدًا من الأسس النكليوتيدية في جيناتها المفردة، لهذا السبب يتطلَّب حساب المعدل الذي تنشأ عنده التسلسلات الجديدة في الكائنات الحية معرفة عاملين: زمن الجيل ومعدل الطفرات. فكلما كانت معدلات الطفرة أكثر و/أو أزمنة الجيل أقصر، سيزيد معدل نشوء تسلسلات جينية جديدة مما يؤدّي إلى أزمنة انتظار أقصر. كما أنَّ معدلات الطفرة الأبطأ و/أو زيادة طول الوقت بين الأجيال، يؤدي إلى أزمنة انتظار أطول. أيضًا كما في يانصيب الكرات، عدد اللاعبين مهم، حيث تولد الجماعات الأكبر تسلسلات جينية أكثر

من الجماعات الأصغر، بالتالي تنقص أزمنة الانتظار، وتنقص الجماعات الأصغر معدل تولد تسلسلات جديدة، مما يزيد من أزمنة الانتظار.

الآن، في قوانين يانصيب الكرات، يمكنك أن تفوز دون الحصول على كامل الأرقام الستة بشكلٍ صحيح، ذلك مطلوب فقط لتفوز بالجائزة الكبرى.[٢٤] إذا التقطتَّ الكرة الحمراء بشكل صحيح فإنك تفوز بـ٤ دولارات، وإذا التقطت ثلاثة كرات بيضاء بشكل صحيح فستفوز بسبعة دولارات، وإذا التقطت أرقام ٤ كرات بيضاء فستفوز بـ١٠٠ دولار، أما إذا حزرت كل الكرات البيضاء الخمسة بشكل صحيح –ولكن ليس الكرة الحمراء–، فيمكن أن تفوز بمليون دولار.

مع كل كرة إضافية ضرورية لتأمين مستوى جديد من الربح تنقص احتمالية الفوز بشكل أسي، في حين ترتفع قيم الجوائز بشكل كبير. ويَنُصُّ موقع اليانصيب الإلكتروني على أنَّ احتمال جائزة ٤ دولارات فقط هو ١ في ٥٥، في حين أن احتمال ربح ١ مليون دولار هو ١ في ٥ ملايين، واحتمال الفوز بالجائزة الكبرى هو ١ في ١٧٥ مليون (الشكل ١٢–٣).[٢٥]

NUMBER OF BALLS WHICH MUST BE GUESSED CORRECTLY	ODDS OF WINNING	PRIZE
1 (RED)	1 IN 55.41	$4
3 (ALL WHITE)	1 IN 360.14	$7
4 (ALL WHITE)	1 IN 19,087.53	$100
5 (4 WHITE, 1 RED)	1 IN 648,975.96	$10,000
5 (ALL WHITE)	1 IN 5,153,632.65	$1,000,000
6 (5 WHITE, 1 RED)	1 IN 175,223,510.00	JACKPOT

الشكل (١٢–٣): مخطط يوضح احتمال الفوز، والجائزة الموافقة لمختلف توليفات الكرات في لعبة يانصيب الكرات.

افترض الداروينيون الجدد لوقت طويل أنَّ التطور البيولوجي يعمل مثل مطابقة عدد واحد في يانصيب الكرات، فمن وجهة نظرهم يعمل الانتقاء الطبيعي لصرف جائزة مقابل -أو الحفاظ على- تغير صغير، لكنَّه محتمل في التسلسلات الجينية -مثل الفوز بجائزة ٤ دولارات الصغيرة لكن قريبة الاحتمال في يانصيب الكرات مرة بعد مرة-، وافترضوا أن آلية الطفرة والانتقاء لا تعتمد على الفوز بالجوائز غير المحتملة بشكل كبير -مثل الجائزة الكبرى في اليانصيب- مرة واحدة.

لكن ماذا إن كان يجب على آلية الطفرة والانتقاء من أجل أن تنتج ميزة وظيفية على المستوى الوراثي أن تولِّدَ المكافئ البيولوجي لكل الكرات الستة الصحيحة -إن لم يكن أكثر- في يانصيب الكرات دون مكافأة مقابل الأرقام الأصغر من الكرات الصحيحة أولًا؟ من الواضح أن احتمال هذا سيكون ضئيلًا جدًا، وسيكون زمن الانتظار للفوز بهذا اليانصيب طويلًا للغاية.

الرجوع إلى البيولوجيا

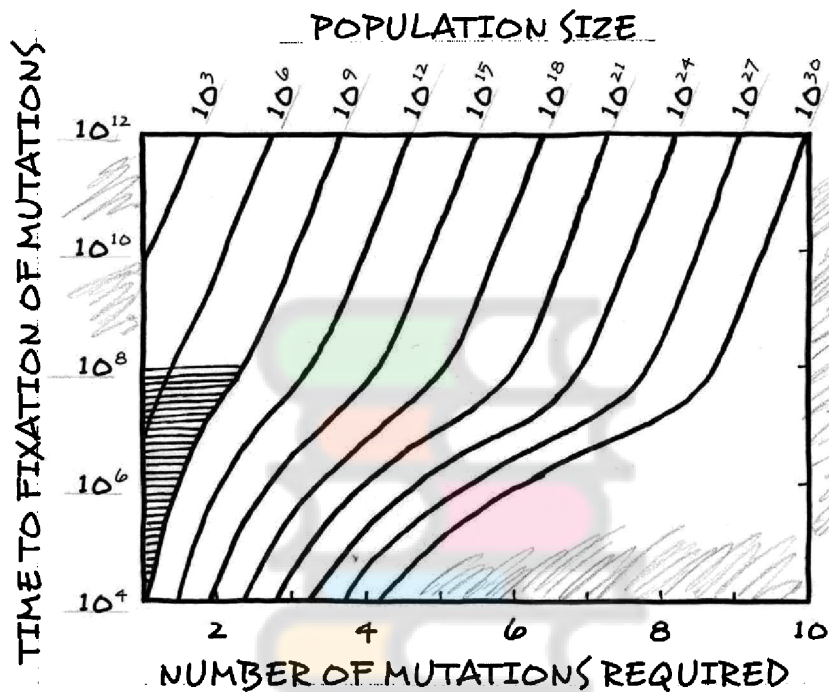
يُعيدنا هذا إلى استنتاج بيهي وسنوك في ورقتهما العلمية ٢٠٠٤، حيث ناقشا بأنَّ توليد بروتين جديد مفرد سيتطلب غالبًا حصول العديد من الطفرات بعيدة الاحتمال معًا بنفس الوقت، واعتبرا أنَّ حصول الطفرات العديدة الضرورية وظيفيًّا معًا أمر غير مرجح -وهو يكافئ الحاجة لمطابقة بطاقة اليانصيب لعدة أرقام للفوز بأي مبلغ نقدي-. حاولا عندها حساب كم المدة التي سيستغرقها، وكيف ستكون هناك حاجة لحجوم جماعات كبيرة لتوليد جينة جديدة عبر تغيرات طفروية متعددة متسقة -المكافئ لسيناريو الجائزة الكبرى-.

وجد بيهي وسنوك بأن توليد جينة جديدة سيتطلَّبُ عدة طفرات متسقة، عندها فإنَّ زمن الانتظار سينمو بشكل أسي مع كل تغير طفروي ضروري إضافي، كما قيما أيضًا تأثير حجوم الجماعات على المدة التي يستغرقها توليد جينات جديدة إذا كانت عدة طفرات متسقة ضرورية لإنتاج هذه الجينات، فوجدا –بشكل غير مفاجئ– أنه كما أنَّ الجماعات الأكبر تقلص أزمنة الانتظار المتوقعة، فإنَّ الجماعات الأصغر تزيدها بشكل هائل، والأكثر أهمية من ذلك استنتاجهما أنه حتى إذا كان بناء جينة جديدة يتطلب فقط طفرتين متسقتين إلا أن الآلية الداروينية الجديدة ستتطلب حجوم جماعات هائلة أو أزمنة انتظار طويلة جدًا أو كليهما، وإذا كانت الطفرات المتسقة ضرورية فإن التطور عند المستوى الجيني يواجه معضلة بلا حل؛ حيث تحتاج آلية الداروينية الجديدة لتوليد طفرتين متسقتين فقط نموذجيًّا لأزمنة انتظار طويلة بشكلٍ غير معقول –أوقات تتجاوز مدة الحياة على الأرض– أو حجوم جماعات غير معقولة –جماعات يزيد عددها عن عدد الكائنات متعددة الخلايا التي عاشت منذ البداية–، وللحصول على حجوم جماعات معقولة لابد من أزمنة انتظار غير معقولة، وللحصول على أزمنة انتظار معقولة فلابد من حجوم جماعات غير معقولة، ثم صرحا بقولهما: "إن الأرقام تمنع حدوث التطور" في كلا الحالتين.[٢٦]

وجد بيهي وسنوك أنَّ للطفرة والانتقاء القدرة على توليد طفرتين متسقتين بمجرد مرور مليون جيل، وهو زمن معقول بالنسبة لعمر الأرض، لكن فقط إذا كان ذلك في جماعة من تريليون أو أكثر من الكائنات متعددة الخلايا، وهو عدد يتجاوز حجم تناسل جماعات كل الأنواع الحيوانية التي تعيش في زمن معين.[٢٧] على العكس، وجدا أن للطفرة والانتقاء القدرة على توليد طفرتين متسقتين فقط في

جماعة من مليون كائن، لكن فقط إن كان يتوفَّر للآلية ١٠ بلايين جيل، وإن افترضنا تسامحًا أنَّ كل كائن متعدد الخلايا منها عاش سنة واحدة فقط، فإنَّ ١٠ بلايين جيل تحسب لعشرة بلايين سنة -أكثر بمرتين من عمر الأرض-، وواضح أنه زمن غير معقول لانتظار بعث جينة واحدة، ناهيك عن الابتكارات التطورية الأكثر أهمية.

لكن وجد بيهي وسنوك "منطقة ملائمة" صغيرة ضمن الأرقام يُمكنُ أن تنشأ فيها جينة تتطلب طفرتين متسقتين فقط (الشكل ١٢-٤)، حيث من الممكن أن تنشأ هذه الجينة من بليون كائن في "مجرد" ١٠٠ مليون جيل، وبما أنَّ عدد الكائنات متعددة الخلايا التي عاشت على الأرض خلال تاريخها أكثر بكثير من ١ بليون، وبما أن الحياة متعددة الخلايا وجدت على الأرض منذ أكثر من ٥٠٠ مليون سنة، فإنَّ هذه الأرقام تقدم زمنًا كافيًّا -بافتراض سنة لكل جيل- لتوليد جينة جديدة في كائن ما، إذا كان المطلوب هو طفرتان متسقتان فقط، وبالطبع إذا كان حجم الجماعة التي تطور صفة ذات طفرتين أقل من ١ بليون كائن، فإن زمن الانتظار يزيد إلى أطوال غير معقولة.



الشكل (١٢-٤): يبين المخطط حجوم الجماعات والأزمنة -مقاسة بعدد الأجيال- المطلوبة لإنتاج جينة أو صفة واحدة، إذا كان بناء هذه الجينة أو الصفة يتطلَّبُ عدة طفرات متسقة. وتمثل المنطقة الرمادية (المنطقة الملائمة)؛ حيث تكفي حجوم الجماعة والزمن المتوفِّر لتوليد الطفرات المتسقة الضرورية لإنتاج جينة واحدة. لاحظ أن أي سمة متعددة الطفرات -والتي تتطلب أكثر من طفرتين- لا يمكنها بكل الاحتمالات أن تتطور بالتضاعف الجيني والطفرة المتسقة التالية لها في جماعة من الكائنات متعددة الخلايا، حتى لو كان كبيرًا. لاحظ أيضًا أنَّ معظم الحجوم الطبيعية للجماعات والأزمنة المعقولة للأجيال تقع وراء حدود التضاعف الجيني والطفرة والانتقاء، حتى لتطوير طفرتين فقط. بإذن من John Wiley وSons و The Protein Society.

لكن هذه الأرقام تَنطبِقُ فقط في حال كانت الحاجة لطفرتين متسقتين فقط لبناء جينة جديدة، كما وجد بيهي وسنوك أنه إذا تطلب توليد جينة وظيفية أو صفة جديدة أكثر من طفرتين متسقتين، فإنَّ أزمنة الانتظار الطويلة المتزايدة ستكون ضرورية بغض النظر عن حجم الجماعة، وإذا كانت الحاجة لثلاث طفرات متسقة أو أكثر فلا تولد حساباتها (منطقة ملائمة) أبدا. بالتالي استنتجا أن "آلية التضاعف الجيني والطفرة النقطية غير فعالة وحدها، على الأقل بالنسبة للأنواع متعددة الخلايا".[٢٨]

الخلاصة، طبَّق بيهي وسنوك المبادئ المشتقة من علم الوراثة السكاني لتقييم القدرة الإبداعية للنموذج المعياري للتطور الجيني في الداروينية الجديدة، وأظهرا أن النموذج المعياري في الداروينية الجديدة يواجه عوائق احتمالية واضحة إذا ما احتاجت البنية لأكثر من طفرتين متسقتين في الكائنات حقيقية النواة متعددة الخلايا.

كتاب «حافة التطور» ونقده

بيهي وسنوك ناقدان معروفان للقوة الإبداعية للآلية الداروينية الجديدة، لذا فإنَّ استنتاجهما قد يبدو مريبًا لبعض المراقبين، لكن محاولات علماء البيولوجيا التطورية للدفاع عن القوة الإبداعية للآلية الداروينية الجديدة أكَّدت بغير قصد استنتاجاتهما.

هناك منشوران علميان حديثان يرويان هذه القصة، نُشر الأول عام ٢٠٠٧، وهو كتاب مايكل بيهي (حافة التطور) الذي توسع فيه حول نتائج ورقته العلمية المنشورة ٢٠٠٤ مع ديفيد سنوك، وباستعمال بيانات الصحة العامة حول صفة

وراثية –مقاومة الدواء المضاد للملاريا الكلوروكين في كائن وحيد الخلية يسبب الملاريا–، قدَّم بيهي مسارًا آخر من الأدلة والحجج لدعم استنتاجه بضرورة وجود عدة طفرات متسقة في الغالب لإنتاج تكيفات وراثية، حتى الصغرى منها.

بناء على بيانات الصحة العامة حدَّد بيهي أنَّ مقاومة الكلوروكين تنشأ فقط في كل ١٠ ٢٠ خلية مسببة للملاريا، فاستنتج أنه من المحتمل أن تتطلب الصفة عدة طفرات للظهور –رغم أنها ليست بالضرورة متسقة–. وقد دعا هذه الصفة (عنقود تعقيد الكلوروكين chloroquine complexity cluster) أو (CCC).[٢٩] أراد بيهي أن يستكشف ما دعاه (حافة التطور)، أي العوائق في وجه القوة الإبداعية للطفرة والانتقاء عند المستوى الجيني، وبعد أن ثبت أن هذه الصفة يمكن أن تنشأ بالطفرة العشوائية في فترة قصيرة من الزمن، تساءل كم من الزمن ستتطلب لإنتاج الصفات الأكثر تعقيدًا في مجتمعات ذات حجوم مختلفة.

طلب بيهي من قرائه أن يفترضوا صفة وراثية أكثر تعقيدًا من عنقود CCC بمرتين –فهي بالتالي سمةٌ تتطلب صفتين متسقتين وكل منهما بنفس تعقيد CCC–، بعبارة أخرى، تساءل بيهي كم يستغرق من الزمن ظهور صفة افتراضية تتطلب تغييرين جينيين بعنقود تعقيد الكلوروكين، إذا كان يجب أن يحصل كلا التغيرين معًا في نفس الكائن –بأسلوب متسق– من أجل إنتاج الصفة. من ثم أثبت، باستعمال مبادئ علم الوراثة السكاني، أنَّ الصفات متعددة الطفرات من هذا التعقيد – المكافئ الجزيئي لصفتي CCC متسقتين– ستتطلب كائنات أكثر بكثير أو زمنًا أكبر مما هو متوفر في تاريخ الحياة. تذكر يانصيب الكرات؛ حيث تزداد أزمنة الانتظار بشكل أسي مع كل تغير متسق إضافي أو عنصر ربح مطلوب. أظهر بيهي مثلًا أنه إذا تطلب الأمر ١٠ ٢٠ كائن للحصول على CCC واحدة، فإنَّ مربع هذه الكمية

(١٠ ^٤٠^) سيكون مطلوبًا لتطوير صفة تتطلب صفتي CCC متسقتين وإنتاج ميزة انتخابية.[٣٠] لكن كما رأينا في الفصل العاشر فإنَّ ١٠ ^٤٠^ فقط هو عدد الكائنات الكلي الذي قد وجد منذ البداية على الأرض، مما يُشيرُ إلى أنَّ كامل تاريخ الأرض يمكن أن يقدِّمَ بشق الأنفس فرصًا ملائمة لتوليد صفة من هذا التعقيد.[٣١]

بشكل مشابه، استنتج بيهي منطقيًّا أن تطوير صفة لها ضِعف تعقيد CCC في كائنات ذات حجوم جماعات أصغر سيتطلب أزمنة انتظار طويلة جدا، كما جزم بأننا نحتاج أزمنة انتظار متزايدة الطول لتوليد تكيفات أبسط في الجماعات الصغيرة.

أثبت بيهي أنَّ مشكلة الطفرات المتسقة كانت شديدة بشكلٍ خاص للكائنات ذات عمر الحياة الأطول وذات حجوم الجماعات الأصغر –مثل الثدييات، أو بشكل أكثر تخصيصًا البشر وأسلافهم المفترضين–، إذ قدَّرَ بيهي الزمن اللازم لحصول طفرتين متسقتين في خط بشري بناء على معدلات الطفرات الملائمة وحجوم جماعات البشر المعروفة وأزمنة الأجيال، واستنتج حسابيًّا أن إنتاج تغير تطوري متواضع واحد سيتطلب مئات ملايين السنين، مع أنَّ الاعتقاد الدارويني السائد هو أنَّ البشر والشمبانزي افترقا من سلف مشترك فقط من ٦ ملايين سنة. وعليه، توحي حسابات بيهي بأنَّ الآلية الداروينية الجديدة لا تَمتلكُ القدرة على توليد حتى طفرتين متسقتين في الزمن المتوفر للتطور البشري، بالتالي لا تفسر كيفية ظهور البشر.

هنا تزداد القصة تشويقًا؛ فبعد نشر (حافة التطور) بفترة قصيرة، حاول عالما بيولوجيا رياضية هما (ريك دوريت) و(دينا شميدت) –وكلاهما مدافعان عن الداروينية الجديدة من جامعة كورنيل– دحض استنتاج بيهي بالقيام بحساباتهم

الخاصة، وطبّقا في ورقتهما العلمية المنشورة بعنوان (انتظار طفرتين: مع تطبيقات على تطور التسلسل التنظيمي وحدود التطور الداروينى Waiting for Two Mutations: With Applications to Regulatory Sequence Evolution and the Limits of Darwinian Evolution) نموذجًا مبنيًّا على علم الوراثة السكاني لحساب الزمن اللازم لتوليد طفرتين متسقتين في الخط البشري، ورغم أنهما حسبا زمن انتظار أقصر من حساب بيهي، لكن النتيجة أكَّدت استحالة الاعتماد على الآلية الداروينية الجديدة في توليد طفرتين متسقتين خلال الإطار الزمني التطوري المتاح، حيث أشار حسابهم إلى أنه لن يستغرق مئات الملايين من السنوات، بل -فقط- ٢١٦ مليون سنة لتوليد وتثبيت طفرتين متسقتين في الخط البشري. وهو أكثر بثلاثين ضعف من الزمن المتوفر لظهور البشر والشمبانزي وكل التكيفات المعقدة المميزة بينهما والفروقات عن سلفهما المشترك المفترض.

في محاولتهما لدحض بيهي أكَّدا -دوريت وشميدت- بغير قصد حجته الأساسية، كما اعترفا بأنَّ حساباتهما تُشيرُ إلى أنَّ توليد طفرتين متسقتين أو أكثر "غير محتملة الحصول أبدًا في إطار زمني معقول".[٣٢] وبالنتيجة، تعزز الحسابات التي قام بها نقاد الداروينية الجديدة والمدافعون عنها نفس الاستنتاج: إذا كانت الطفرات المتسقة ضرورية لتوليد جينات وبروتينات جديدة، فإنَّ رياضيات الداروينية الجديدة نفسها -كما هو معبر عنها في مبادئ علم الوراثة السكاني- تُثبت لا معقولية الآلية الداروينية الجديدة.

تفحص خيار (الخيار المشترك)

لكن هل يتطلب توليد جينات وبروتينات جديدة طفرات متسقة؟ استنتج بيهي وسنوك هذا بناءً على حقيقة لا خلاف عليها في البيولوجيا الجزيئية؛ حيث تعتمد

العديد من البروتينات على مجموعات من الحموض الأمينية التي تَعملُ في تناسق وثيق من أجل إنجاز وظيفتها، كما ناقش بيهي أيضًا في (حافة التطور) المستويات الوظيفية التي ستتطلَّب من الكثير من الأنظمة المعقدة طفرات تكيفية متسقة، لأنَّ غياب عدة منتجات جينية، بل وحتى منتج جيني واحد –بروتينات أو صفات– في هذه الأنظمة، سيسبب ضياع الوظيفة. أثبت بيهي بشكلٍ خاص أنَّ العديد من الآلات الجزيئية ضمن الخلايا –مثل الأهداب ونظام النقل ضمن السياط ومحرك السوط الجرثومي[٣٣]– تتطلب تآثرًا متسقًا بين عدة أجزاء بروتينية، من أجل الحفاظ على وظيفتها، لكن بيهي في إثبات هذه الحجة لم يَطرح فكرة بديلة عن السبيل الذي ربما تطورت عبره الجينات والبروتينات الجديدة، بالتالي لم يثبت نهائيًّا أن الجينات والبروتينات الجديدة تُمثل تكيفات معقدة بحد ذاتها.

طرح بعض الداروننيين الجدد نموذجًا للتطور البروتيني يُعرف (بالخيار المشترك co-option)، وفي هذا النموذج يَتَحول البروتين الذي ينجز وظيفة ما لينجز وظيفة أخرى، ويتصور هذا النموذج نشوء سمات جديدة تحتاج لطفرات متعددة بطريقة خطوة بخطوة لإنتاج بروتين ما (بروتين B) من بروتين آخر (بروتين A) لا يَملكُ هذه السمات. يَعترف أنصار الخيار المشترك –بافتراضهم لحدوث سلسلة من الطفرات المفردة المنفصلة– أنَّ التغيرات في الحموض الأمينية المفردة أثناء الخطوات الأولى من تطور البروتين A –وهو البروتين الذي لا يملك سمة تعدد المواقع– لن تسمح للبروتين A بإنجاز وظيفة البروتين B، لكنهم اقترحوا أن هذه التغيرات قد تسمح للبروتين A بإنجاز وظيفة مفيدة أخرى، مما يجعله بروتينًا قابلًا للانتقاء، ويمنع التطور البروتيني من حذفه بسبب ضعف وظيفته أو خسارتها. في النهاية، وباستمرار توليد الطفرات لبروتينات ذات وظيفة مختلفة قليلًا، سيتولد

بروتين قريب في تسلسله وبنيته من البروتين B، بحيث أنَّ تغيرًا إضافيًّا واحدًا –أو قلة من التغيرات– كافية لتحوله إلى البروتين B.

وانطلاقًا من هذه السيناريوهات التخيلية، قرَّر Douglas Axe وزميلته خبيرة البيولوجيا الجزيئية Ann Gauger –الذان يعملان حاليًا في معهد البيولوجيا في سياتل– (الشكل ١٢-٥) وضع هذه السيناريوهات في اختبار تجريبي إبداعي.[٣٤] حيث عملا على تحديد فيما إن كان تطور سمات جديدة وظيفية في مواقع متعددة يتطلب عدة طفرات متسقة، أو أن هذه السمة يُمكن أن تنشأ بالخيار المشترك.



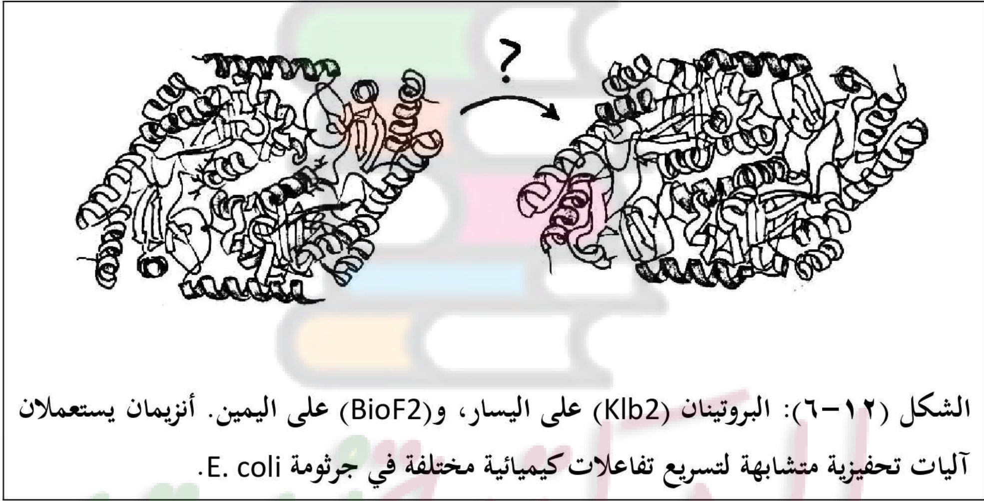
الشكل (١٢-٥): آن غوجر.

طاف أكس وغوجر في قواعد بيانات البروتينات بحثًا عن بروتينات متشابهة -ما أمكن- في تسلسلها وبنيتها، لكنها تنجز وظائف مختلفة. وحددا بروتينين يُحققان هذه المعايير، أحدهما البروتين Kbl2 الضروري لتدريك حمض أميني -الثريونينthreonine-، والآخر BioF2 وهو ضروري لبناء فيتامين البيوتين biotin (الشكل ١٢-٦).

أدرك أكس وغوجر أنهما إن تمكنا من تحويل Kbl2 إلى بروتين يُنجز وظيفة BioF2 فقط بتغير واحد أو عدة تغيرات حمضية أمينية متسقة، فيمكن لهذا أن يثبت -بناءً على عدد التغيرات- أن تسلسلي البروتينين كانا قريبين كفاية، بحيث أنَّ التحول في الوظيفة من النوع الذي يتصوره أنصار الخيار المشترك معقول في الزمن التطوري، كما أنَّ النتيجة الإيجابية ستعني أيضًا أنهم قد اكتشفوا أخيرًا فجوة وظيفية بين بروتينين تستطيع الطفرة -أو الطفرات القليلة- القفز فوقها من أحدهما إلى الآخر، كما تقتضي فكرة الخيار المشترك، ذلك لأنهما عرفا الصعوبة التي يواجهها العلماء في إثبات أي تغير حقيقي عملي في وظيفة البروتين.

لكن إن وجدا أن العديد من التغيرات الطفروية المتسقة ضرورية، فهذا يُمكن أن يبرهن -حسب عددها- بأن الآلية الداروينية لا تحقق القفزة الوظيفية من A إلى B في وقت معقول، ويقتضي ذلك أنه يجب أن يكون هناك درجة أكبر من التشابهات الوظيفية بين البروتينات، لكي تكون فرضية الخيار المشترك مقبولة. وعند فحصهما الحذر للتشابهات البنيوية بين أفراد عائلة كبيرة من الأنزيمات المتشابهة بنيويًّا، أدركا أنَّ Kbl2 وBioF2 قريبان جدًا في البنية والتسلسل أكثر من أي بروتينين معروفين ينجزان وظيفتين مختلفتين، بالتالي إذا اتضح أن تحول وظيفة أحدهما إلى وظيفة الآخر ممكنة فقط بالعديد من الطفرات المتسقة -أكثر مما

يمكن توقع حصوله في وقت معقول- فإنَّ نتيجة التجربة ستكون ذات آثار مدمرة للتفسيرات المعيارية للتطور البروتيني. وإذا كان على البروتينين الذين ينجزان وظيفتين مختلفتين أن يكونا أكثر تشابهًا من Kbl2 وBioF2 من أجل تغيرات طفروية تحول وظيفة أحدهما للآخر، فإن كل الأغراض العملية للخيار المشترك لن تعمل، إذ لا يوجد ببساطة العديد من القفزات الصغيرة.



الشكل (١٢-٦): البروتينان (Klb2) على اليسار، و(BioF2) على اليمين. أنزيمان يستعملان آليات تحفيزية متشابهة لتسريع تفاعلات كيميائية مختلفة في جرثومة E. coli.

بدايةً حدَّد أكس وغوجر مواقع الحموض الأمينية التي من المرجَّح أنها إذا طفرت ستسبب تغير وظيفة Kbl2 إلى وظيفة BioF2، ثم طفّرا منهجيًّا هذه المواقع بشكل مفرد وفي مجموعات تشمل توليفات مختلفة من الحموض الأمينية، فكانت النتائج واضحة كوضوح الشمس في رابعة النهار، حيث وجدا أنهما لا يستطيعان تحريض التغير في الوظيفة لا مع حمض أميني واحد ولا مع عدد قليل من الحموض الأمينية، بل وجدا في الواقع أنهما لا يستطيعان أن يجعلا Kbl2 ينجز وظيفة BioF2 حتى لو طفّرا أعدادًا أكبر من الحموض الأمينية معًا -هذا حتى لو اعتبرنا أنه يمكن حصول العديد من الطفرات المتسقة بشكلٍ معقول في كل التاريخ التطوري-.

إن فشل محاولة تحويل Kbl2 لإنجاز وظيفة BioF2 لا يَعني أنَّ التجربة فشلت، بل سمحت لهم لأول مرة بإثبات أنَّ فرضية الخيار المشترك للتطور البروتيني تفتقر للمصداقية، إذ ببساطة يتطلب تحويل وظيفة بروتين لأخرى الكثير من الطفرات المتسقة حتى في حال البروتينات المتشابهة للغاية. يَقتضي ذلك تطلب العديد من الطفرات المتسقة لتوليد الجينات والبروتينات الجديدة، بالتالي لا تزال أزمنة الانتظار التي حسبها بيهي وسنوك مشكلة لنظرية الداروينية الجديدة.

مكَّن العمل التجريبي أكس من حساب أزمنة الانتظار المتوقعة لعدد مختلف من الطفرات المتسقة مع عوامل ومتغيرات مختلفة، فطوّر نموذجًا رياضيًّا منقحًا في علم الوراثة السكاني لحساب أزمنة الانتظار المختلفة، وأكَّدت نتائجه الحسابات السابقة لبيهي وسنوك، حيث وجد مثلًا أنه إذا أخذنا بعين الاعتبار الكلفة المتوقعة على لياقة الكائن الذي يَحملُ نسخًا جينية متضاعفة غير ضرورية –باعتباره أمرًا ضروريًا لتقديم فرصة معقولة لتطور جينة جديدة–، فإنَّ زمن الانتظار المحتمل لثلاثة طفرات متسقة فقط يتجاوز مدة الحياة على الأرض.

حدَّد أكس بالتالي الحد الأعلى من الطفرات المتسقة التي يتوقع أن تَحصل في جينة متضاعفة خلال تاريخ الحياة على الأرض باثنتين –بالأخذ بعين الاعتبار التأثيرات السلبية لحمل جينة مضاعفة في العملية التطورية–، كما حسب أيضًا ستة طفرات متسقة كحد أعلى، مهملًا كلفة حمل الجينة المضاعفة على اللياقة. لكنه في تجربته لم يتمكن مع غوجر من تحريض تغير وظيفي في جينة مفردة، وإن بإجراء ستة طفرات متسقة. إذن، حتى الحد الأعلى الأكثر كرمًا –مرة أخرى كريم لكنه غير واقعي– لا يُقدِّمُ مصداقية لنظرية الخيار المشترك. في الواقع أثبتت تجارب أكس وغوجر أنَّ الخطوة الأصغر التي يُمكنُ تصورها تتجاوز ما هو معقول مع الزمن

المتوفر للعملية التطورية، فقالا بكلماتهما: "إن الابتكارات التي تتطلب العديد من التغيرات... ستكون نادرة جدًا، بحيث أنها ممكنة فقط في إطار زمني أطول بكثير من عمر الحياة على الأرض".

ما المعنى؟

بإثبات استحالة نموذج الخيار المشترك للتطور البروتيني والحاجة لطفرات متعددة متسقة من أجل توليد سمات متعددة المواقع في البروتينات، أكَّد أكس وغوجر أنَّ البروتينات والجينات بحد ذاتها تُشكل تكيفات معقدة –أي كيانات تعتمد على التآثر المتسق– لعدة وحيدات، والتي يجب أن تنشأ سويًّا لتستطيع تقديم الميزة الوظيفية.

تعني الحاجة للطفرات المتسقة أنَّ علماء البيولوجيا التطورية لا يمكنهم الاعتماد على مجرد الافتراض بأن الطفرات ستولّد بسهولة جينات وصفات جديدة، كما افترضت الداروينية الجديدة منذ زمن طويل. بل بتطبيق النماذج الرياضية –المبنية على المبادئ المعيارية لعلم الوراثة السكاني– على أسئلة نشوء الجينات نفسها أثبت بيهي وسنوك ودوريت وشميدت –بغير قصد– وأكس وغوجر وبيولوجيون آخرون[٣٥] حديثًا أن توليد عدد من الطفرات المتعددة المتسقة ضروري لإنتاج حتى جينة واحدة أو بروتين واحد، وهو أمرٌ غير محتمل الحصول في زمن انتظار واقعي، بالتالي أثبت هؤلاء البيولوجيون عدم معقولية الداروينية الجديدة كوسيلة لتوليد معلومات وراثية جديدة.

هناك ناحية أخرى في هذا الأمر، إذ قدمت مجمل الأعمال المنشورة بين ٢٠٠٤ و٢٠١١ أيضًا تأكيدًا إضافيًّا لبحث أكس الذي يُثبت ندرة الجينات

والبروتينات في الفضاء التسلسلي، بل ساعدت هذه الأبحاث في تفسير كيف أن أزمنة الانتظار الطويلة هذه ضرورية، فإذا كانت التسلسلات الوظيفية نادرة في الفضاء التسلسلي، فمن البديهي أن يستغرق العثور عليها بالوسائل العشوائية وغير الموجهة وقتًا طويلًا. بل إن أزمنة الانتظار تزداد أسياً مع كل طفرة ضرورية إضافية، بالتالي فإنَّ أزمنة الانتظار الطويلة لإنتاج جينات وبروتينات وظيفية جديدة هو بالضبط ما يجب توقعه، إذا كانت الجينات والبروتينات الوظيفية نادرة، وإذا كانت الطفرات المتسقة ضرورية لإنتاجها. لذا أكَّدت مختلف التجارب والحسابات المنجزة بين ٢٠٠٤ و٢٠١١ استنتاج أكس حول ندرة الجينات والبروتينات الوظيفية، وقدَّمت الأدلة الإضافية على أنَّ الآلية الداروينية الجديدة لا يمكن أن تولد المعلومات الضرورية لبناء جينات جديدة، ناهيك عن أن تولد شكلًا جديدًا من الحياة الحيوانية في الزمن المتوفر للعملية التطورية.

الرياضيات والآلية

من عجائب الأمور، أن يقوم كل الباحثين الذين يحسبون أزمنة الانتظار لظهور التكيفات المعقدة في كل حالة باستعمال نماذج مبنية على المبادئ الأساسية لعلم الوراثة السكاني -والذي هو التعبير الرياضي عن النظرية الداروينية الجديدة-؛ بالتالي، تُثبت (رياضيات الداروينية الجديدة) أنَّ الآلية الداروينية الجديدة لا يمكنها بناء تكيفات معقدة، يشمل ذلك الجينات والبروتينات الجديدة الغنية بالمعلومات، والتي ستكون ضرورية لبناء الحيوانات الكامبرية. أو باستخدام الاستعارة التي ربما أحبها (توم فرازيتا): لقد أكلت الأفعى ذيلها.

الفصل الثالث عشر

منشأ المخططات الجسدية

منشأ المخططات الجسدية

من النادر ألا تَحصل مقتضيات الاكتشافات العلمية الحائزة على جائزة نوبل على الكثير من الانتباه، فمن البدهيّ أن يَحصُلَ الاكتشاف نفسه على استحسان عظيم، لكن ربما يكون لمعناه العميق شأن آخر.

بدأ عالمان شابان رائدان في علم الوراثة هما كريستين نوسلين–فولهارد Christiane Nüsslein-Volhard وإريك ويشاوس Eric Wieschaus (الشكل ١٣–١) في خريف عام ١٩٧٩ بمُختبر علم الأحياء الجزيئي الأوروبي في مدينة هايدلبيرج بألمانيا بإنتاج آلاف الطفرات، لفحص جينات عشرات آلاف ذبابات الفاكهة من نوع Drosophila melanogaster، آملين بذلك كشف أسرار النمو الجيني. تقنيًّا، قامت نوسلين–فولهارد وويشاوس بتجارب تطفير إشباعي Saturation mutagenesis، فأطعما ذكر الذباب المادة المسببة للطفرات، وهو المطفر الكيميائي الفعال سلفونات إيثيل الميثان EMS، ثم زاوجا الذكور بإناث عذراوات، ثم فحصا اليرقات الناتجة بحثًا عن عيوب واضحة للعيان.

وبإنتاج عدة آلاف من الذبابات الطافرة mutants يكونان قد "أشبعا" جينات الدروسوفيلا بالطفرات، وحرصا حدوث تنوعات في مجموعة الجينات الصغيرة التي تتحكَّمُ بشكلٍ خاص بالنماء الجنيني، وتتحكمُ هذه الجينات التنظيمية عادةً بتعبير عدة جينات أخرى تبني جنين الذبابة وتقوم بتقسيمه تدريجيًّا إلى مواضع ستصبح لاحقًا الرأس والصدر والبطن عند الذبابة البالغة. يخلُّ المطفِّر EMS بتضاعف الـDNA منتجًا الطفرات الجينية التي تؤثر على عملية النمو وتترك عيوبًا مرئية في يرقات الذبابة، فاستنتجت نوسلين– فولهارد وويشاوس كيف تقوم جينات

معينة بتنظيم نماء الأجزاء المختلفة من مخطط جسم الذبابة من خلال مراقبة اليرقات المعيبة، وعليه يكون جوهر ما قام به كل من نوسلين– فولهارد وويشاوس هو هندسة جينات الذبابة عكسيّا، ليحددا وظائف الجينات المختلفة بما فيها الجينات التنظيمية الضرورية لنمو الذبابة.[١]

حازت دقَّة وفرادة (تقصّيات هايدلبيرج) –كما اشتهرت هذه التجارب لاحقًا– وأهميتها في كشف آليات التحكم التنظيمي أثناء تخلق الجنين الحيواني على اهتمام لجنة جائزة نوبل، وفي عام ١٩٩٥ منحت اللجنة جائزة نوبل في الطب أو الفيزيولوجيا لنوسلين–فولهارد وويشاوس، وقد وصف أستاذ علم الوراثة في جامعة كمبردج دانييل جونستون عملهما بقوله: "كان عملًا ثوريًّا لأنَّه كان أول تطفير في كائن متعدد الخلايا، وحاول إيجاد معظم أو كل الطفرات التي تصيب جينات الإطراز patterning الأساسية المستخدمة أثناء النماء الجنيني".[٢]

هذه هي القصة التي تروى عادة، وهي صحيحة فيما تذهب إليه، لكن ذبابات الفاكهة الطافرة التي حصلت عليها نوسلين–فولهارد وويشاوس تروي قصة أخرى قلّ من يعرفها، وهي قصة تحتوي على أدلَّة مهمة عن الغموض غير المكتشف لمنشأ مخططات جسم الحيوان.

ألمح ويشاوس نفسه إلى هذه الدلائل بمداخلته الشهيرة في اجتماع جمعية تطوير العلم الأمريكية (AAAS) عام ١٩٨٢ بعد جلسة حول عمليات التطوُّر الكبير التي قدَّم فيها ورقة بحثية، حيث سأله أحد الحضور عن قصده بكلمة "قوي" التي استخدمها ليصف الطفرات التي أنتجها مع زميلته نوسلين–فولهارد في الذبابات، فضحك ويشاوس آنذاك وقال أنَّ "قوي" لم تعن بالتأكيد أنَّه "على قيد

الحياة"، فكل الذبابات الطافرة التي درسها بلا استثناء هلكت كيرقات مشوهة قبل أن تَصِلَ سن التكاثر بكثير، وتابع مازحًا "لا، الميت ميت، ولا يمكنك أن تكون ميتًا أكثر من ذلك".[٣]

ثم سأل سائل آخر ويشاوس عن آثار ما اكتشفه على نظرية التطور، وهنا استجاب ويشاوس بجدية أكثر متسائلًا بصوت عال عما إذا كانت مجموعته من الطافرات قد قدَّمت أية استبصارات حول الكيفية المفترضة لقدرة العملية التطورية على بناء الهياكل الجسدية المبتكرة فقال: "المشكلة أننا نظن أننا عرفنا كل الجينات اللازمة لتحديد مخطط جسد الدروسوفيلا، لكن من الواضح أنَّ هذه النتائج ليست واعدة كمواد خام يُمكن أن يَبنى عليها التطور الكبير، سيكون السؤال التالي على ما أظن هو عن ماهية الطفرات الملائمة لإحداث تغير تطوري كبير؟ وليس لدينا بعد إجابة على ذلك".[٤]

بعد مرور ثلاثين عامًا، ما يزال علماء الأحياء التطورية والأحياء النمائية يَجهلون الإجابة عن هذا السؤال، وفي نفس الوقت أبرزت تجارب أجريت على ذبابات الفاكهة وعلى كائنات أخرى كالديدان المدورة والفئران والضفادع وقنافذ البحر أسئلة إشكالية حول دور الطفرات في منشأ مخططات أجسام الحيوانات، فإذا كان تطفير الجينات التي تُنظم بناء مخطط الجسم يُدمِّرُ شكل الحيوان في المرحلة الجنينية، فكيف إذًا يُمكنُ للطفرات والانتخاب أن يبنيا المخططات الجسمية أساسًا؟

فشلت (الآلية الداروينية الجديدة) في تفسير إنتاج الجينات والبروتينات الجديدة اللازمة لبناء الأشكال الحيوانية الجديدة التي ظهرت بعد الانفجار

الكامبري، لكن حتى لو كان الانتخاب والطفرات قادرين على إنتاج جينات وبروتينات جديدة كليًّا، فستبقى أمامنا مشكلة أهم؛ إذ يلزم لبناء حيوان جديد وتأسيس مخططه الجسمي أن تنتظم البروتينات في بِنًى عالية المستوى، أي بكلمات أخرى؛ ما إن تظهر البروتينات الجديدة حتى ينظُمها شيء ما لتلعب أدوارها في أنواع الخلايا المتمايزة، كما يجب أن تنتظم أنواع الخلايا المتمايزة هذه بدورها لتشكل أنسجة وأعضاء ومخططات جسمية متمايزة، وتحدث عملية التنظيم هذه أثناء النمو الجنيني. إذًا يتوجب على العلماء لشرح كيفية بناء الحيوان فعليًا من مكونات بروتينية أصغر أن يفهموا عملية النمو الجنيني.



الشكل (١٣-١): (١٣-١)a: (يسار) كريستين نوسلين-فولهارد. (١٣-١)b: (يمين) إريك ويشاوس.

دور الجينات والبروتينات في نمو الحيوان

كأي تخصص فرعي من علوم الأحياء، طرح علم الأحياء النمائي Developmental Biology أسئلة مزعجة أمام الدراوينية الجديدة، حيث يَصفُ علم الأحياء النمائي عمليات تنشؤ الفرد ontogeny، التي تنمو الأجنة من خلالها إلى كائنات ناضجة. خلال العقود الثلاثة الماضية طور هذا المجال بشكلٍ مثير فهمنا لكيفية ظهور المخططات الجسمية أثناء التنشؤ الفردي، وقد جاءت الكثير من هذه المعرفة من دراسة ما يُسمَّى بالأنظمة أو الكائنات النموذجية التي يستطيع البيولوجيون تطفيرها بسهولة في المختبر.

ربما تتنوع التفاصيل الدقيقة لنماء الحيوان حسب النوع بشكل مذهل، إلا أنَّ كل الحيوانات تَملكُ أمرًا مشتركًا، ألا وهو الابتداء بخلية واحدة والانتهاء بالعديد من الخلايا، حيث يبدأ النماء في معظم أنواع الحيوانات بالبيضة المخصبة، وما أن تنقسم إلى خلاياها البنت حتى تصبح جنينًا ويبدأ الكائن بالاتجاه نحو هدف محدد وهو الشكل البالغ القادر على التكاثر، وإنَّ الوصول إلى هذا الهدف البعيد يتطلَّبُ من الجنين إنتاج أنواع متعددة من الخلايا المتخصصة في المواضع الصحيحة والزمان الصحيح.

يَشملُ تمايز الخليَّة تنسيق التعبير عن جينات معينة حسب المكان والزمان، ومع ازدياد عدد الخلايا التي تقوم بوظائفها المختلفة من اثنتين إلى أربعة إلى ثمانية سيتضاعف العدد إلى أن يَصِلَ إلى آلافٍ وملايين بل وحتى تريليونات الخلايا وفق النوع، ويعكس عدد انقسامات الخلية وعدد الخلايا الكلي عدد أنواع الخلايا المختلفة التي يحتاجها الكائن الناضج، وهذا بدوره يستلزم إنتاج بروتينات مختلفة لأنواع خلوية مختلفة.

على سبيل المثال؛ تختلف بروتينات الهضم المتخصصة التي توجد في الخلايا التي تبطن أمعاء الكائن الناضج عن البروتينات التي توجد في عصبون على السبيل العصبي لأحد الأطراف، ويجب أن يكونا مختلفين لأن كلًّا منهما يقوم بوظائف مختلفة تمامًا، لذلك يجب أثناء النمو أن تتنشط الجينات المناسبة up-regulated –يزداد التعبير عنها–، كذلك يجب تثبط الجينات المناسبة down-regulated –ينخفض التعبير عنها–، لضمان إنتاج البروتينات الصحيحة في الوقت الصحيح في نوع الخلية الصحيح.

تلعب بروتينات معينة أدوارًا فعالة في تنظيم تعبير الجينات التي تنتج بروتينات أخرى، وتعرف هذه البروتينات التنسيقية بمنظمات الانتساخ (Transcription Regulators-TRs) أو عوامل الانتساخ (Transcription Factors-TFs)، والتي ترتبط عادةً بشكل مباشر على مواقع معينة من الDNA، فتقوم بتثبيط أو تنشيط انتساخ جينات معينة إلى RNA، وتوصل عوامل أو منظمات الانتساخ تعليمات حول الجينات التي يَجِبُ تنشيطها وتلك التي يجب تثبيطها، ويبدي بناؤها ثلاثي الأبعاد مواقع ارتباط وصفية بالDNA بما فيها ميدان مؤلف من ٦١ حمضًا أمينيًّا تغلف لولب الDNA المزدوج، أو تتضمَّن عوامل الانتساخ الأخرى –إصبع الزنك Zinc Finger، وسحّاب ثمالات اللوسين Leucine Zipper–، هي الأخرى ترتبط أيضًا بالDNA. تتحكَّم بعوامل ومنظمات الانتساخ داراتٌ وإشارات معقدة ترسلها جينات وبروتينات أخرى، إن تعقيدها ودقتها الكُليّة لتحبس الأنفاس.

كشف البحث الجيني الدؤوب الذي قامت به نوسلين– فولهارد وويشاوس وعددٌ آخر من علماء البيولوجيا النمائية° العديد من الجينات التنظيمية الأساسية في الطور الجنيني، التي تساعد في تحويل الخلايا إلى أنواعها المتمايزة البالغة، كما كشف هذا البحث أيضًا عقبة عويصة تصل إلى لب نظرة الداراوينية الجديدة للحياة.

الطفرات المؤثرة باكرًا في تشكيل المخططات الجسدية، ومسببات الموت الجنيني

تحتاج لتخلق اختلافات جوهرية في أشكال الحيوانات إلى مراعاة التوقيت، حيث ستؤثر الطفرات الجينية التي تظهر في مراحل متأخرة من نمو الحيوان في عدد قليل نسبيًّا من الخلايا والصفات البنائية، ذلك لأن الشكل الأساسي للمخططات الجسدية قد تشكل في مرحلة سابقة[٦]، لذا لا يُمكنُ للطفرات متأخرة الحدوث أن تسبب أي تغييرات مهمة أو موروثة في شكل أو مخطط جسم حيوان كامل، أما الطفرات التي تحدث مبكرًا أثناء النمو الجنيني فربما تؤثر في العديد من الخلايا وتنتج تغيرات مهمة في الشكل أو المخطط الجسدي، خاصة إذا حدثت هذه التغييرات في جينات تنظيمية أساسية.[٧]

وعليه، فإنَّ الطفرات التي تحدث باكرًا أثناء نمو الحيوانات هي الوحيدة التي ربما تمتلك فرصة حقيقية لإنتاج تغير تطوري كبروي واسع النطاق[٨]، ويفسِّرُ عالما الوراثة التطورية (برنارد جون) و(جورج ميكلوس) حاجة "التغير التطوري الكبروي" لتغييرات في "مراحل مبكرة جدًا من التخلق الجنيني"[٩]، ويؤيد ذلك خبير البيولوجيا التطورية في جامعة ييل –سابقًا– كيث ثومسون بقوله: "يُمكنُ فقط للطفرات التي تحدث باكرًا أثناء نماء الكائنات أن تنتج تغيرات تطورية واسعة النطاق".[١٠]

لكن، منذ التجارب الأولى التي أجراها عالم الوراثة مورجان في بدايات القرن العشرين محدثًا طفرات ممنهجة في ذبابات الفاكهة، وحتى الآن حيث تُخضع العديد من أنواع حيوانات التجربة للتطفير، أظهر علم الأحياء النمائي أن الطفرات التي تؤثر في تشكيل المخطط الجسدي والتي تحدث مبكرًا أثناء النمو ستدمر

الكائن حتمًا.[١١] (الشكل ١٣-٢) يقول أحد مؤسسي الداروينية الجديدة، وهو عالم الوراثة فيشر، أنَّ طفرات كهذه "إمّا أن تكون مَرَضية حتمًا -وفي معظم الأحيان قاتلة- في تأثيراتها"، أو أن ينتج عنها كائن لا يستطيع البقاء على قيد الحياة "في البرية wild state".[١٢]

يُمكنُ أن نشبه النماء الجنيني الطبيعي في أي حيوان على أنَّه شبكة واسعة من القرارات، بحيث تكون القرارات الباكرة -في المراحل الأولى- ذات تأثير أعظم من القرارات المتأخرة، وتساعد الجينات المنظِمة وبروتيناتها الرابطة للDNA في التحكم بهذه الشبكة الممتدة من القرارات، بحيث إذا طرأ تعديل أو تخريب على البروتينات المنظِمة بواسطة طفرة، فإن التأثيرات تتلاحق على عملية النماء بأكملها، وكلما كان الفشل باكرًا، انتشر العطب أكثر. يَشرحُ عالم الوراثة بروس والاس السبب الذي يجعل من الطفرات الباكرة فائقة القدرة على تعطيل نماء الحيوان فيقول: "لا تزال تواجهنا صعوبة بالغة أثناء سعينا لتحويل كائن إلى آخر، وهي عقبات وظيفية تكمن في صعوبة إعادة ضبط العديد من مفاتيح التحكم بطريقة تسمح بالنماء الجنيني الجسدي المتناسق".[١٣]

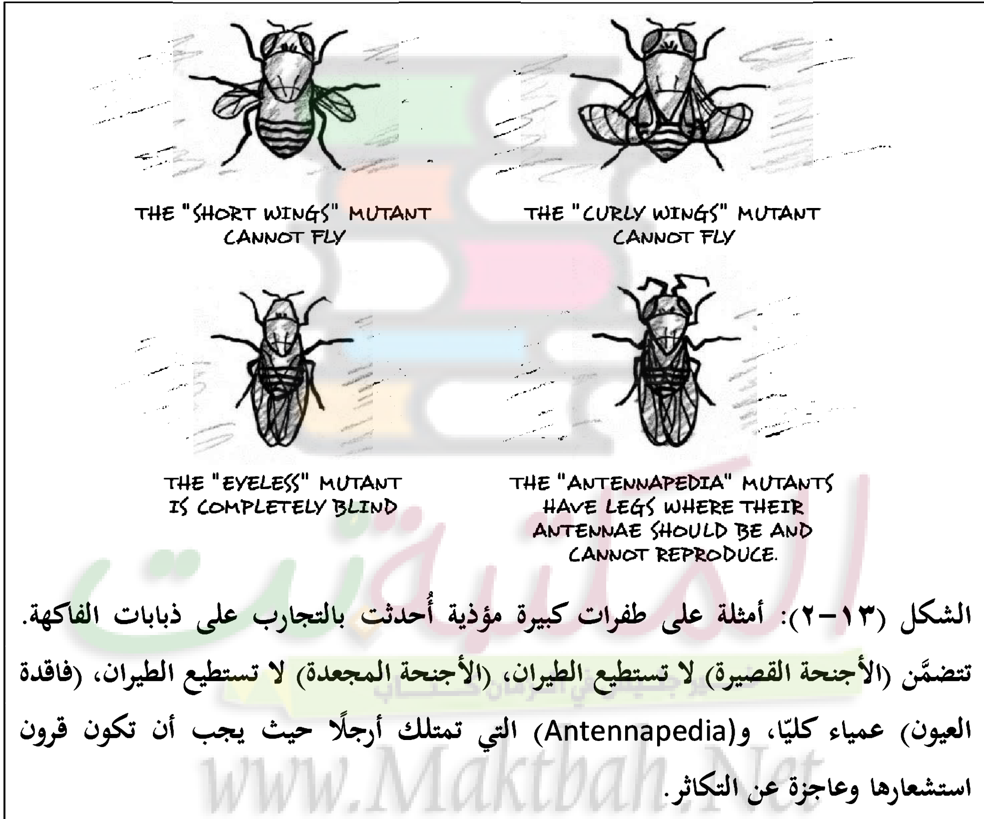
اكتشفت نوسلين-فولهارد وويشاوس هذه المشكلة في التجارب التي أجرياها على ذبابات الفاكهة بعد جهودهما الأولى التي نالا عليها جائزة نوبل، فقاما في هذه التجارب المتأخرة بدراسة الجزيئات البروتينية التي تؤثر على ترتيب أنواع الخلايا المختلفة أثناء النماء الجنيني الباكر، وتسمى هذه الجزيئات محدثات التخلق morphogens، وأحدها يُدعى Bicoid، وهو جزيء أساسي في تكوين محور (رأس - ذنب) عند ذبابة الفاكهة، وقد وجدا أنَّ النمو يتوقف حين تضطرب هذه الجزيئات ذات الأثر المبكر في المخطط الجسدي، وتموت الأجنة حين تحدث

الطفرة في الجينة المشفرة لـBicoid[١٤]، كما يحدث ذات الأمر في كل حالات الطفرات المبكرة المعروفة لنا، والتي تصيب الجينات المنظمة المؤثرة على تشكل المخطط الجسمي.

هنالك أسباب وظيفية وجيهة لهذا، نعرفها من تصميم الأنظمة المعقدة الأخرى، فإذا عدّل صانع السيارات لون طلاء السيارة أو أغطية مقاعدها فليس هناك من داع لتعديل أمر آخر يساعد السيارة كي تعمل؛ لعدم اعتماد وظيفتها الطبيعية على هذه السمات، لكن إن غيَّرَ مهندسٌ طول قضبان المكبس –البيستون– في محرك السيارة ولم يغير العمود المرفقي –أي عمود ذراع التدوير crankshaft– وفقًا لذلك، فلن يدور المحرك، وقياسًا على ذلك يعد نمو الحيوان عملية متكاملة بإحكام، تعتمد فيها بروتينات متنوعة وبنىً خلوية في وظائفها على بعضها، وتعتمد الأحداث المتأخرة بشكل حاسم على الأحداث المبكرة، لذلك سيحتاج أي تغيير مبكر أثناء نماء الحيوان إلى مجموعة تغيرات متناسقة تالية في العمليات والكينونات النمائية –المنفصلة مكانيًّا والمرتبطة ببعضها وظيفيًّا– التالية.[١٥] يساعد هذا التكامل الوظيفي الدقيق في تفسير العلة وراء إحداث الطفرات المبكرة أثناء النماء الجنيني للموت الحتمي للأجنة، كذلك العلة وراء إنتاج الطفرات المتأخرة نسبيًّا أثناء النماء لكائنات معاقة غالبًا.

ستتضح المشكلة إلى حد كبير إذا ما تفحصنا بدقة نتيجة تجريبية محددة من هذا النوع، حيث يُنتِج إحداث طفرة في الجين المنظم Ultrabithorax –والذي يُعبَّر عنه في منتصف نماء الذبابة– زوجًا إضافيّا من الأجنحة على كائن يَمتلكُ في الوضع الطبيعي زوجًا واحدًا منها، وعلى الرغم من أن زوجًا إضافيًّا من الأجنحة قد يبدو أداة مفيدة، إلا أنه ليس كذلك على الإطلاق، حيث ينتج عن هذا الابتكار

حشرة معاقة لا تستطيع الطيران؛ لأنها تفتقد لبناء عضلي يدعم توظيف أجنحتها الإضافية من بين عدة أشياء أخرى، ولأن الطفرة النمائية لم ترافقها تغييرات نمائية تنسيقية أخرى –ضرورية– لجعل الأجنحة الإضافية ذات فائدة، لذا كانت هذه الطفرة ضارة بالتأكيد.



الشكل (١٣-٢): أمثلة على طفرات كبيرة مؤذية أُحدثت بالتجارب على ذبابات الفاكهة. تتضمَّن (الأجنحة القصيرة) لا تستطيع الطيران، (الأجنحة المجعدة) لا تستطيع الطيران، (فاقدة العيون) عمياء كليّا، و(Antennapedia) التي تمتلك أرجلًا حيث يجب أن تكون قرون استشعارها وعاجزة عن التكاثر.

قادت هذه المشكلة لما يُسميه عالم الجينات في معهد جورجيا التقني (جون ماكدونالد) "المفارقة الداروينية الكبيرة"[١٦]، فقد لاحظ أنَّ الجينات المتباينة بوضوح ضمن الجمهرات الطبيعية تؤثر –على ما يبدو– في جوانب ثانوية من الشكل والوظيفة، بينما الجينات التي تتحكَّمُ بالتغيرات الرئيسية –أي ما يتعلق بالتطور

الكبروي ذاته– فلا تتنوع ظاهريًّا، أو تتنوع فقط لأذية الكائن. ويقول بكلماته: "لا يبدو أنَّ تلك المواقع الجينية المتنوعة بوضوح ضمن الجمهرات الطبيعية مسؤولة عن التغيرات التكيفية الأساسية، بينما لا تتباين المواقع الرئيسية المسؤولة عن العديد من –إن لم يكن كل– التباينات التكيفية الرئيسية ضمن الجمهرات الطبيعية".[١٧] بعبارة أخرى، لا يحدث ذلك النوع من الطفرات الذي تحتاجه العملية التطورية لإنتاج حيوان جديد –وأعني بالتحديد التغيرات التنظيمية المفيدة المُعبَّر عنها باكرًا أثناء النماء–، في المقابل فإن نوع الطفرات الذي يحدث طفرات جينية في الـDNA –تعطي كائنات قابلة للحياة وتقع في مرحلة متأخرة من النماء– هو الذي لا تحتاجه العملية التطورية. بالمختصر المفيد، لا نحصل على النوع الذي نحتاجه من الطفرات لإحداث التغيرات التطورية الرئيسية، بل نحصل على النوع الذي لا نحتاجه.

لخَّص زميلي بول نلسون من معهد ديسكفري (الشكل ١٣–٣) –وهو فيلسوف في البيولوجيا ومتخصص في النظرية التطورية والبيولوجيا الإنمائية– التحديات للداروينية الجديدة التي يفرضها نشوء الحيوان في ثلاث فرضيات:

١) تبنى مخططات الأجسام الحيوانية في كل جيل بعملية تدريجية، من البويضات الملقحة إلى الكائن البالغ ذي الخلايا العديدة.

٢) لذلك يجب لنشوء أي مخطط جسمي أن تحصل الطفرات التي يُعبّر عنها باكرًا أثناء النماء، ويجب أن تكون قابلة للحياة وأن تنتقل بشكلٍ مستقر إلى الذرية.

٣) إلا أنَّ الطفرات باكرة الحدوث كهذه –وذات التأثير الواسع على نشوء الحيوان– هي الأقل احتمالًا لِأنْ يتحملها الجنين، وفي الحقيقة لم يحدث أبدًا أن احتملها جنين حيوان درسه خبراء البيولوجيا النمائية.



الشكل (١٣-٣): بول نلسون.

استطاع نلسون أن يقدر عمق المشكلة التي تفرضها هذه الحقائق بعد سنوات عديدة من النقاش مع عضوين في لجنة الدكتوراه في جامعته -جامعة شيكاغو-، وهما خبير البيولوجيا التطورية لي فان فالين Leigh Van Valen (١٩٣٥-٢٠١٠)، والمنظر التطوري وفيلسوف البيولوجيا ويليام ويمسات William Wimsatt. كان فان فالين المشهور بنظريته (فرضية المِلكة الحمراء Red Queen hypothesis) حول حاجة الكائنات إلى التطور باستمرار للاحتفاظ بصلاحيتها، شغوفًا بآليات التطور الكبروي، ووضع ويمسات نظرية (التحصن

التوالدي generative entrenchment)، شرح فيها اللاتناظرات السببية causal asymmetries العاملة في الأنظمة المعقدة، بما فيها تلك المسؤولة عن نماء الحيوان.[18] وقد اعترف كلاهما لنلسون بأنَّ المراجع العلمية لا تحتوي أية أمثلة على طفرات حيوية تؤثر باكرًا في نماء الحيوان وفي تشكيل مخططه الجسدي –الفرضية ٣، المذكورة آنفا–، كذلك فإن التطور الكبروي لنوع جديد من الحيوانات يحتاج لطفرات مبكرة التأثير –الفرضية٢، المذكورة آنفا–، لكن بالرغم من ذلك، بقي كلاهما مؤمنًا بالنشوء والارتقاء من سلف مشترك عبر نوع ما من الطفرات غير الموجهة. جادل نلسون بأنَّ هذه الفرضيات تدلُّ بقوة على أن آليات الداروينية الجديدة لا توفِّر –وهي فعلًا لا توفر– آلية كافية لإنتاج مخططات جسدية لحيوانات جديدة.

كما أخبرني أنه "إذا كان النوع الوحيد من الطفرات الذي يُمكنه أن ينتج تغيرات شكلية كافية لتعديل مخططات جسدية كاملة لا يمكنه إحداث تغيرات مفيدة وقابلة للتوريث، فمن الصعب تفهم الكيفية التي استطاعت من خلالها الطفرات والانتخاب إنتاج أي مخططات جسدية جديدة أصلًا"[19]، لذلك فإنه يستنتج أنَّ: "البحث العلمي حول نماء الحيوان والتطور الكبروي في السنوات الثلاثين الفائتة –وهو يجري ضمن معطيات الداروينية الجديدة– أظهر أن تفسير الداروينية الجديدة لمنشأ المخططات الجسمية الجديدة باطل للغاية؛ لأسباب من المحتمل أن داروين نفسه كان يفهمها".

الحقيقة هي أنَّ داروين نفسه قد أصرَّ على أنّ "لا يُمكنُ لشيء أن يحدث بـ(الانتخاب الطبيعي) ما لم تحدث التنوعات المرغوبة"[20]، أو كما يشرح البيولوجي السويدي سورين لوفتروب Søren Løvtrup بالمختصر المفيد: "لا انتخاب بلا

تنوعات، ولا تطور بلا انتخاب، وهذا التأكيد مبني على أبسط قواعد المنطق؛ فالضغط الانتخابي كعامل تطوري يُصبحُ بلا معنى ما لم نفترض وجود الطفرات المناسبة".[٢١] لكننا نجد أن نوع الطفرات المناسب –الطفرات التي تنتج التغيرات المُفضِّلة في الجينات مبكرة التنظيم والتأثير والمشكّلة للمخطط الجسدي– لا يحدث.

إن التغير التطوري الصغروي غير كاف، فالطفرات الكبيرة –أي التغييرات واسعة النطاق– مؤذية، وقد حاق هذا التناقض بالداروينية منذ ظهورها، لكن الاكتشافات حول التنظيم الجيني للنماء الحيواني قد جعلت هذا التناقض حادًا، وألقت شكًّا جديًّا حول كفاءة آلية الداروينية الجديدة الحديثة كتفسير لظهور مخططات جسدية جديدة في العصر الكامبري.

شبكات الجينات التنظيمية النمائية

كشف خط بحثي إضافي في البيولوجيا النمائية تحديًّا مشابهًا للقوة الإبداعية لآلية الداروينية الجديدة، فقد اكتشف خبراء البيولوجيا النمائية أن العديد من المنتجات الجينية –الRNA والبروتينات– الضرورية لنمو مخطط جسدي حيواني معين تنقل إشارات تؤثر في طريقة نمو الخلايا الفردية وتمايزها، وتؤثر هذه الإشارات إضافة إلى ذلك في طريقة تنظيم الخلايا وتفاعلها مع بعضها أثناء النماء الجنيني، وتؤثر جزيئات الإشارة هذه في بعضها لتشكل دارات أو شبكات من التفاعلات المتناسقة بشكلٍ مشابه تمامًا للدارات المتكاملة على لوحة دارات إلكترونية. فعلى سبيل المثال، غالبًا ما يعتمد التوقيت المحدد الذي تنتقل خلاله إشارة ما على توقيت استلام إشارة من جزء آخر، الذي يعتمد بدوره على انتقال

إشارات أخرى، جميعها متناسقة ومتكاملة للقيام بوظائف محددة وحساسة للزمن، إن ما يضمن التمايز السليم وتنظيم أنواع الخلايا المختلفة أثناء نماء مخطط جسدي حيواني هو التناسق والتكامل ما بين جزيئات الإشارات، عليه فإنه كما يتسبب إحداث الطفرات في جين منظِّم واحد باكرًا أثناء نماء الحيوان إلى توقف نمائه حتمًا، تتسبب الطفرات أو التعديلات في شبكة من جزيئات الإشارة المتفاعلة فيما بينها كذلك في تخريب نماء الجنين.

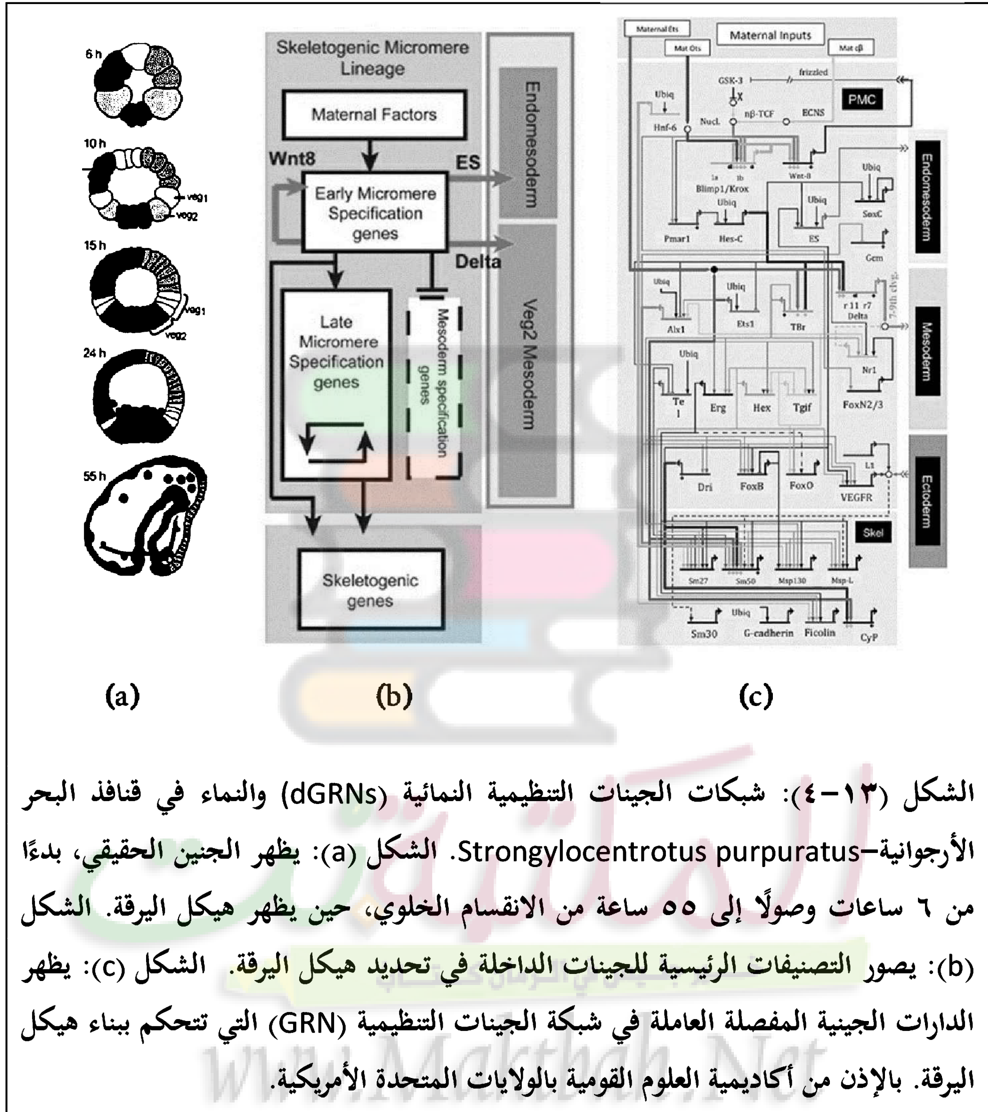
لم يقم أي بيولوجي باستكشاف الآلية التنظيمية لنماء الحيوان بأعمق مما فعل Eric Davidson من معهد كاليفورنيا التكنولوجي، حيث وضع في بداية مساره الوظيفي نظرية (التنظيم الجيني للخلايا العليا gene regulation for higher cells)[٢٢] بالتعاون مع عالم البيولوجيا الجزيئية روي بريتن Roy Britten.

عنى ديفيدسون وبريتن بـ(الخلايا العليا)، وهي الخلايا المتمايزة أو المتخصصة التي توجد في أي حيوان بعد الأطوار الأولى لنماء الجنين، لاحظ ديفيدسون أنَّ خلايا الحيوان مهما كانت متنوعة في الشكل أو الوظيفة فهي "تحتوي بشكلٍ عام على جينات متطابقة"[٢٣]، وتعبر هذه الخلايا المتخصصة أثناء دورة حياة الكائن عن جزءٍ صغيرٍ فقط من الDNA الموجود في جينومها على مر الوقت، لذلك فهي تنتج RNAs مختلفة. تقترح هذه الحقائق بقوة وجود نظام تحكم جيني شاملٍ للحيوان، يعمل على تنشيط بعض الجينات، ويثبط بعضها الآخر حسب الحاجة خلال حياة الكائن، وأن هذا النظام يعمل منذ بداية نماء الحيوان، بدءًا من البويضة وصولًا إلى الكائن الناضج الذي يملك أنواعًا مختلفة من الخلايا.

وقد اعترف ديفيدسون وبريتن يوم وضعا نظريتهما عام ١٩٦٩ بوجود "القليل من المعلومات عن الآليات الجزيئية التي تتحكم بتعبير الجينات في الخلايا المتمايزة"، لكنهما رغم ذلك استنتجا أن نظامًا كهذا لابد أنه موجود ويعمل نظرًا لـ:

(١) عشرات أو مئات أنواع الخلايا المتخصصة التي تظهر أثناء نماء الحيوانات.
(٢) كل خلية تملك الجينوم نفسه.
(٣) حتمية وجود نظام تحكم يحدد الجينات التي يُعبّر عنها في الخلايا المختلفة في الأوقات المختلفة لضمان تمايز الخلايا المختلفة عن بعضها، وهو نظام تحكم شامل منطقي التنظيم، لا بد أنه يشرف على التعبير الجيني وينسقه.[٢٥]

كرس ديفيدسون مساره المهني لاستكشاف ووصف الآليات التي تعمل من خلالها أنظمة التحكم بالجينات هذه أثناء النماء الجنيني، وقد كشفت البحوث الجينية على مدى العقدين الماضيين تحكم وتنظيم المواقع الجينية غير المرمزة للبروتينات لتوقيت تعبير المواقع الجينية المرمزة للبروتينات، وأظهر ديفيدسون عمل المواقع الجينية التي لا ترمز للبروتينات لكنها تتحكم وتنظم تعبير الجينات والمواقع المرمزة للبروتينات من الDNA كدارات –جينات مرمزة للبروتينات وغير مرمزة لها تشكل دارة–، يسميها ديفيدسون (شبكات الجينات التنظيمية النمائية (networks- developmental gene regulatory) أو (dGRNs)، والتي تتحكم بالنماء الجنيني عند الحيوانات.



الشكل (١٣-٤): شبكات الجينات التنظيمية النمائية (dGRNs) والنماء في قنافذ البحر الأرجوانية–Strongylocentrotus purpuratus. الشكل (a): يظهر الجنين الحقيقي، بدءًا من ٦ ساعات وصولًا إلى ٥٥ ساعة من الانقسام الخلوي، حين يظهر هيكل اليرقة. الشكل (b): يصور التصنيفات الرئيسية للجينات الداخلة في تحديد هيكل اليرقة. الشكل (c): يظهر الدارات الجينية المفصلة العاملة في شبكة الجينات التنظيمية (GRN) التي تتحكم ببناء هيكل اليرقة. بالإذن من أكاديمية العلوم القومية بالولايات المتحدة الأمريكية.

حين وصل ديفيدسون إلى معهد كاليفورنيا التكنولوجي في Caltech عام ١٩٧١ اتخذ قنفذ البحر الأرجواني Strongylocentrotus purpuratus نموذجًا تجريبيًّا، إذ أنَّ خواصه البيولوجية تَجعلُ منه نموذجًا مخبريّا جذّابا؛ حيث يوجد هذا النوع بكثرة على طول ساحل المحيط الهادي، وينتج أعدادًا ضخمة من

البويضات سهلة التخصيب في المختبر، ويعيش لعدة سنوات.[٢٦] ابتكر ديفيدسون وزملاؤه التقنية والبروتوكالات التجريبية اللازمة لتحليل نظام التحكم بالجينات عند قنافذ البحر.

لابد من عرض التعقيد الرائع الذي وجدوه بصريّا، ويظهر الشكل (١٣-٤)a جنين القنفذ بعد ست ساعات من بدء النماء، وهذه هي مرحلة الخلايا الست عشرة، ما يعني أن ٤ دورات من الانقسام الخلوي قد حدثت -خلية ثم اثنتان ثم ٤ ثم ٨ ثم ١٦-، ومع استمرار النمو في المراحل الأربعة التالية يزداد كل من عدد الخلايا ودرجة تمايزها، حتى تظهر عناصر هيكل القنفذ بعد خمس وخمسين ساعة، ويُظهر الشكل (١٣-٤)b رسمًا توضيحيًّا لأصناف الجينات الرئيسية -الخاصة بأنواع الأنسجة والخلايا-، ممثلة بمربعات موصولة بأسهم التحكم. يُظهر الشكل الأخير (١٣-٤)c ما يسميه ديفيدسون (الدارة الجينية)، التي تنشط الجينات الخاصة بالتمعدن الحيوي، والتي تنتج بدورها البروتينات الابتنائية اللازمة لتشييد هيكل القنفذ.[٢٧]

يمثِّلُ هذا الشكل الأخير شبكة جينات تنظيمية نمائية (dGRN)، وهي شبكة متكاملة من جزيئات البروتين وجزيئات إشارة الRNA، مسؤولة عن تمايز وترتيب الخلايا المتخصصة التي تؤسس الهيكل الصلب عند القنفذ البحري. لاحظْ أنه لكي يعبَّر عن جينات التمعدن البيولوجي التي تنتج البروتينات البنائية التي يتكون منها الهيكل، يجب أن تقوم جينات أخرى تنشطت قبل عدة ساعات في مراحل مبكرة من النماء بدورها المطلوب.

لا تحدث هذه العملية مصادفة في قنفذ البحر، إنَّما بأنظمة تحكم عالية التنظيم والدقَّة كما يحدث في كل الحيوانات. وبالفعل، حتى أحد أبسط أنواع الحيوانات، الدودة C. elegans، والتي تَملكُ ما يزيد قليلًا عن ألف خلية في شكلها البالغ، تُبنى أثناء نمائها بواسطة شبكة جينات تنظيمية نمائية شديدة الدقة والتعقيد، وتوجه شبكات الجينات التنظيمية النمائية المتنوعة في كل الحيوانات ما يصفه ديفيدسون بأنه "زيادة تدريجية في التعقيد" الجنيني، وهي زيادة قابلة للقياس "بالمصطلح المعلوماتي" على حد قوله.[٢٨]

يلاحظ ديفيدسون أن شبكات الجينات التنظيمية النمائية تصبح عصية على التطفير ما إن يتم بناؤها كدارات متكاملة، وهي نقطة يركز عليها في كل منشوراته المرتبطة بهذا الموضوع على مدار السنوات الخمس عشرة الماضية تقريبًا. إن إعاقة أي من هذه الدارات "في جنين قنفذ البحر ينتج شذوذًا ما في التعبير الجيني" وفق ملاحظاته.[٢٩]

تقاوم شبكات الجينات التنظيمية النمائية التطفير لأنها مرتبة بشكل هرمي، وهذا يعني أنَّ بعض شبكات الجينات التنظيمية النمائية تتحكَّم بشبكات جينات تنظيمية أخرى، بينما يؤثر بعضها الآخر فقط في الجينات الفردية والبروتينات التي تسيطر عليها، وفي مركز هذا الهرم التنظيمي هناك شبكات تنظيمية تحدد المحور والشكل العام لمخطط جسد الحيوان أثناء نمائه، ولا يُمكنُ تعديل شبكات الجينات التنظيمية النمائية هذه دون أن تتسبب بآثار كارثية على الكائن.

الحقيقة أننا لا نَملك أي مثال على تغير هذه الدارات الحصينة والحساسة وظيفيًّا على الإطلاق، ففي طرف الهرم توجد شبكات جينية تنظيمية تحدد الترتيبات

لمظاهر أضيق نطاقًا، ويُمكنُ أن تتغيَّرَ في بعض الأحيان، لكن لإنتاج مخطط جسدي جديد يلزم تعديل محور وشكل الحيوان العام، وهذا يحتاج تطفير ذات الدارات التي لا تتغير إلا وتترك تأثيرات كارثية. يصر ديفيدسون على أن الطفرات التي تحدث في شبكة الجينات التنظيمية النمائية التي تنظم نمو المخطط الجسدي تقود إلى "فقد كارثي لجزء من الجسم أو فقد القدرة على الحياة كلها مرة واحدة".[30] ويشرح بتفصيل أكثر: "هناك دائمًا أثر ملحوظ لأي خلل يحدث في عمل شبكة جينات تنظيمية نمائية، ولأن هذا الأثر كارثي دومًا، ولأن مرونة التغيير في حدها الأدنى، ولأن الدارات الفرعية مرتبطة جميعًا ببعضها البعض، فإنَّ الشبكة برمتها تساهم في صفة وحدانية الطريقة التي تعمل وفقها الأشياء؛ وبالفعل فإن أجنة كل نوعٍ تنشأ بطريقة واحدة فقط".[31]

القيود الهندسية

تُمثِّلُ النتائج التي وصل إليها ديفيدسون تحديًّا عميقًا لكفاية آلية الداروينية الجديدة، إذ أن بناء مخطط جسمي جديد يحتاج شبكات جديدة من الجينات التنظيمية النمائية، وليس فقط مجرد جينات وبروتينات جديدة. بل إن بناءها لابد أن يكون من واحدة موجودة مسبقًا بواسطة التطفير والانتخاب، ما يعني إدخال تعديلات على تلك الشبكات الجينية التنظيمية الموجودة مسبقًا –وهو ذات النوع من التغيير الذي رأيناه في الفصل الثاني عشر والذي لا يمكن أن يحدث دون طفرات عديدة ومتناسقة–. على أية حال، أظهر عمل ديفيدسون أن هذه التعديلات لها تبعات كارثيّة حتمية أيضًا.

يُسلط عمل ديفيدسون الضوء على تناقض واضح بين شرح الداروينية الجديدة المفسِّر لكيفية بناء مخططات أجساد الحيوانات الجديدة، وأحد مبادئ الهندسة الأساسية (مبدأ القيود the principle of constraints). فقد فَهِمَ المهندسون منذ القدم أنه كلما كان النظام أقرب للتكامل الوظيفي ازدادت صعوبة تغيير أي جزء منه دون تدمير أو تخريب النظام كله، وإنّ عمل ديفيدسون يؤكد أن هذا المبدأ يَنطَبِقُ في كثير من الجوانب على الكائنات في مراحل نمائها، ونظام تنظيم الجينات الذي يتحكم بنماء المخطط الجسدي الحيواني متكامل بشكلٍ مذهل، بحيث أنَّ أي تعديلات معتبرة في شبكات الجينات التنظيمية فيه ستقتل أو تعطب الحيوان النامي حتمًا.[٣٢] لكن نظرًا لهذا، كيف يمكن لمخطط جسدي جديد وشبكة الجينات التنظيمية النمائية الجديدة الضرورية لإنتاجه أن ينشآ تدريجيًّا بواسطة التطفير والانتخاب من مخطط جسدي سابق مع مجموعة سابقة من شبكات الجينات التنظيمية النمائية؟

يقول ديفيدسون بوضوح أن أحدًا لا يعرف ذلك حقًا: "فعلى النقيض من نظرية التطور التقليدية، لا يُمكن أن تؤخذ العمليات -التي تنشئ التغيرات الصغيرة التي نلحظها حينما يبدأ النوع بالتشعب- كنماذج لتطور مخططات الأجسام الحيوانية"[٣٣]، ويضيف قائلًا: "يفترض التطور حسب الداروينية الجديدة أنَّ جميع العمليات تَعملُ بنفس الطريقة، بحيث يُمكنُ استعمال تطوُّر الإنزيمات أو ألوان الزهور لدراسة تطور المخطط الجسدي بالنيابة، فهي تفترض مخطئة أن تغير التسلسل المرمِّز للبروتينات هو السبب الأساسي للتغيير في البرنامج النمائي، وتفترض مخطئة أن التغير التطوري في شكل المخطط الجسدي الظاهري يحدث بواسطة عملية مستمرة أو متصلة، لكن كل هذه الافتراضات مجانبة للحقيقة

جوهريًا، وهذا غير مفاجئ؛ لأنَّ النظرية التركيبية الداروينية الجديدة، والتي تنبثق منها هذه الأفكار، قد لُفِّقَت قبل ظهور البيولوجيا الجزيئية بالتركيز على علم الوراثة السكاني... والتاريخ الطبيعي، وهما اللذان لا يملكان أيّة آلية مباشرة تولد أنظمة التحكم الجينية القائدة لنمو المخطط الجسدي الجنيني".[٣٤]

الآن وبعد حين

يُبرِز عَمَل إريك ديفيدسون –مثل عَمَل نوسلين فولهارد وويشاوس– صعوبات واضحة تتعلق بالانفجار الكامبري، لكنْ إجمالًا يفهم علماءُ الاحافير الانفجارَ الكامبري على أنَّه ظهور بيولوجي مفاجئ لأشكال عديدة من الحياة الحيوانية، وإن بناء هذه الأشكال يحتاج برامج نمو جديدة تتضمن جينات تنظيمية جديدة باكرة الفعل وشبكات جينية تنظيمية نمائية جديدة. لكن إن لم يكن بإمكاننا –عن طريق استخدام التطفير– تعديل الجينات التنظيمية باكرة الفعل ولا شبكات الجينات التنظيمية النمائية دون تدمير برامج النمو الموجودة أصلًا –أي تدمير الشكل الحيواني–، فإنَّ تطفير هذه الوحدات سيترك الانتخاب الطبيعي بلا شيء متفاضل ينتخب منه، وسينتهي تطور الحيوان عند هذه النقطة.

ترَكَّز شكُّ داروين حول الانفجار الكامبري عند مشكلة افتقاد الأحافير الوسيطة، إذ ليست المشكلة أن أحدًا لم يعثر على هذه الأشكال فقط، بل إن الانفجار الكامبري نفسه يُظهر مشكلةً هندسية عميقة؛ هي مشكلة بناء شكل جديد من الحياة الحيوانية، عن طريق التحويل التدريجي لنظام مُحكم متكامل من المكونات الجينية ومنتجاتها إلى نظام آخر، لكننا سنرى في الفصل القادم مشاكل متبقية أخرى أكثر جسامة.

الفصل الرابع عشر

الثورة فوق الجينية

The Epigenetic Revolution

الثورة فوق الجينية

The Epigenetic Revolution

في عام ١٩٢٤ أعلن العالمان الألمانيان Hans Spemann و Hilda Mangold عن إجرائهما تجربة استثنائية، لكنَّها رغم أهميتها لم تنل نصيبها من التقدير في ذلك الوقت؛ أي قبل ثلاثة عقود من اكتشاف أنَّ الحمض النووي DNA هو الجزيء الحامل للمعلومات، وفي تلك التجربة استأصلا بالجراحة المجهرية جزءًا من جنين حيوان سمندل الماء ثم زرعاه في إحدى أجنة السمندل الأخرى.[١]

كانت النتائج مذهلة؛ فقد أنتج الجنين الثاني جسمين ملتصق بعضهما ببعض عند منطقة البطن، لكل منهما رأس وذيل، وهذا ما يشابه حالة التوائم السيامية، لكن رغم التبدلات المفاجئة التي طرأت على الخواص التشريحية للجنين إلا أن كلا العالمين لم يغيرا شيئًا في حمضه النووي.

أوحت هذه التجربة لاحقًا باحتمال ثوري، هو وجود شيء آخر يُضاف للحمض النووي فيؤثِّرُ بعمق في نماء المخططات الجسدية الحيوانية، وهذا ما تُشير إليه الكثير من التجارب الأخرى، ففي ثلاثينيات وأربعينيات القرن العشرين عرض عالم الأحياء الأمريكي Ethel Harvey بالتجربة أنَّ أجنة قنفذ البحر قادرة على الاستمرار في النماء لتصل إلى نحو ٥٠٠ خلية رغم إزالة نواها –أي أنها بلا حمض نووي في نواتها–[٢]، وفي ستينيات القرن نفسه تمكَّن علماء بلجيكيون من كبح انتساخ الحمض النووي لأجنة بعض البرمائيات إلى RNA مرسال، لكن تلك الأجنة تمكنت من الاستمرار في النماء وصولًا إلى عدة آلاف من الخلايا.[٣] في السبعينيات، استعرض كنديون متخصصون في علم الأحياء قدرة جنين الضفادع

على الاستمرار في النماء المبكر دون نواته، إذا تمَّ حقن جهاز الانقسام الخلوي لحيوان قنفذ البحر في البيضة.[٤]

لا تشير أية تجربة من تلك التجارب إلى تمكن تلك الأجنة من التطور الكامل دون حمضها النووي، ففي نهاية المطاف كان الحمض النووي ضروريًّا في كل حالة لإكمال النمو الجنيني، لكن تلك التجارب ترجح أن الحمض النووي ليس كل ما في الأمر، وأن هناك مصادر أخرى للمعلومات تلعب دورًا مهمًّا في توجيه المراحل الأولى –على الأقل– من النماء الحيواني.

إلى أبعد حدود المعلومات فوق الجينية

في عام ٢٠٠٣ نشرت مطبعة معهد ماساشوستس للتكنولوجيا مجموعة من المقالات العلمية الرائدة في مجلد بعنوان (نشأة شكل الكائن الحي: ما وراء الجينات في علمي الأحياء التطوري والنمائي Origination of Organismal Form: Beyond the Gene in Developmental and Evolutionary Biology)، أعدَّ تلك المقالات اثنان من العلماء البارزين في مجال علم الأحياء التطوري والنمائي، هما Gerd Müller من جامعة فيينا وStuart Newman من كلية الطب في نيويورك، ضمّن مولر ونيومان في ذلك المجلد عددًا من المقالات العلمية، التي تتحدث عن اكتشافات حديثة في علم الوراثة وعلم الأحياء النمائي، ترجح أن الجينات ليست وحدها التي تحدد الشكل والبنية ثلاثيي الأبعاد عند الحيوان، بل إن العديد من العلماء الآخرين يقرون في كتبهم أنَّ ما يسمى بالمعلومات فوق الجينية –وهي المعلومات التي تخزن في مكونات الخلية، لا في تسلسلات DNA– تلعب دورًا حاسما.

البادئة epi هي لفظة يونانية تعني (فوق) أو (خارج حدود)؛ لذا فإن عبارة "المعلومات فوق الجينية" تعبر عن مصدر للمعلومات خارج الجينات، وكما فسَّر مولر ونيومان في مقدمتهما: "لا تفيد المعلومات التفصيلية على مستوى الجينات في تفسير الشكل"[٥]، بل حسبما يقول نيومان: "تلعب (المعلومات القرينة contextual information) أو (ما فوق الجينية) دورًا حاسمًا في تركيب جسم الحيوان أثناء النماء الجنيني".[٦]

لم يسلط مولر ونيومان الضوء فقط على أهمية المعلومات فوق الجينية في تشكيل مخططات الجسد أثناء النماء الجنيني، لكنهما قالا أيضًا بأنَّه لابد من أن تلك المعلومات قد لعبت أصلًا بطريقة مماثلة دورًا مهمًا في نشوء المخطط الجسدي الحيواني وتطوره، وتوصلا إلى أن تلك الاكتشافات الحديثة عن دور المعلومات فوق الجينية في النماء الحيواني تطرح تحديًا هائلًا للتفسير المعياري الداروني الجديد عن نشأة المخططات الجسدية، وقد يكون هذا هو التحدي الأكبر على الإطلاق.

أدرج مولر ونيومان في المقال التمهيدي في كتابهما عدة تساؤلات مفتوحة في علم الأحياء التطوري، من بينها السؤال عن نشأة المخططات الجسدية لحيوانات الحقبة الكامبرية، وعن نشأة الأشكال المتعضية عمومًا التي كانت الموضوع الرئيسي لكتابهما، وذكرا أنه رغم أن نموذج الداروينية الجديدة يبقى هو الإطار التفسيري الرئيسي للتطور، إلا أنها لا تملك نظرية تشرح أصل النشأة[٧]، فمن وجهة نظرهما "تتجنب الداروينية الجديدة السؤال عن أصل الصفات البيولوجية الظاهرية وعن الشكل المتعضي تجنبًا كليًا".[٨] فهما إذًا وغيرهما يعتقدان أن

الداروينية الجديدة ينقصها تفسير نشأة الشكل المتعضي، والسبب -تحديدًا- هو أنها لا تستطيع تفسير نشأة المعلومات فوق الجينية.

علمت بمسألة مشكلة المعلومات فوق الجينية وتجربة سبيمان ومانغولد لأول مرة بينما كنت أقود السيارة متجهًا إلى مقابلة خاصة مع علماء يشككون بنظرية داروين في الساحل المركزي بولاية كاليفورنيا عام ١٩٩٣، كان إلى جانبي في السيارة جوناثان ويلز (الشكل ١٤-١) الذي كان ينهي حينها رسالة الدكتوراه في علم الأحياء التطوري بجامعة كاليفورنيا في بيركلي. أتى ويلز، كغيره ممن في مجاله، لكي يرفض وجهة النظر المتمحورة حول الجينات المتعلقة بالنماء الحيواني، ولكي يتعرف على أهمية مصادر المعلومات اللاجينية.

كنت قد قمت بدراسة العديد من الأسئلة والتحديات التي تواجه نظريات التطور الكلاسيكية التي نشأت من علم الأحياء الجزيئي، لكن الوراثة فوق الجينية كانت جديدة عليّ، وفي طريقنا سألت ويلز: "لماذا كان علم الأحياء النمائي مهمًا لتلك الدرجة لنظرية التطور ولتقييم الداروينية الجديدة؟" ولن أنسى رده حين قال: "لأنه المكان الذي ستدفن فيه النظرية كلها قريبا".



الشكل (١٤-١): جوناثان ويلز. صورة بإذن من Laszlo Bencze.

وفي السنين التالية أعدَّ ويلز حجة قوية ضد كفاية آلية الداروينية الجديدة لتفسير منشأ المخططات الجسدية الحيوانية، فأبرزت تلك الحجة أهمية المعلومات فوق الجينية في النماء الحيواني، ولمعرفة السبب الذي يجعل من المعلومات فوق الجينية تحديًا جديدًا أمام الداروينية الجديدة ومعرفة ماذا يعني العلماء بالفعل بمصطلح (فوق الجيني) فعلينا أولًا أن نبحث في العلاقة بين الشكل البيولوجي والمعلومات البيولوجية.

الشكل والمعلومات

يعرِّف علماءُ الأحياء (الشكل الحيوي) بأنه ترتيب وشكل مميز لأجزاء الجسم، وتوجد الأشكال المتعضية في الأبعاد المكانية الثلاثة وتنشأ بمرور الوقت –أثناء النماء من الطور الجنيني إلى الطور البالغ في حالة الحيوان مثلًا–، ينشأ الشكل الحيواني في الوقت الذي تقتصر فيه المكونات المادية على إقامة ترتيبات خاصة ذات شكل –أو طوبوغرافيا– ثلاثي الأبعاد نتعرف عليه على أنه مخطط جسدي لنمط معين من الحيوانات، وعليه يمثل الشكل المحدد ترتيبًا خاصًا جدًا من المكونات المادية من بين مجموعة أكبر من الترتيبات المحتملة.

يوحي فهم التكوين بهذه الطريقة بأن نربط هذا المفهوم بفكرة المعلومات بحسها النظري العام، فكما أشرت في الفصل الثامن، قالت نظرية شانون الرياضية للمعلومات بأنَّ كمية المعلومات المنقولة تساوي كمية الارتياب المخفض أو المحذوف في سلسلة من الرموز والحروف. هكذا تُنقل المعلومات –طبقًا لنظرية شانون– كمجموعة من الخيارات أو الترتيبات الممكنة، فبعضها يُستثنى وبعضها يُنجز، وكلما زاد عدد الترتيبات المستبعدة زادت كمية المعلومات المنقولة. يتضمَّن تقييد مجموعة من الترتيبات الممكنة للمادة بشتى الوسائل استبعاد بعض الخيارات وتحقيق البعض الآخر، وهذه العملية تولد معلومات وفق الفهم الأكثر عمومًا لنظرية شانون، هذا يعني أنَّ تلك التقييدات التي تنتج الشكل البيولوجي تنقل معلومات أيضًا، حتى لو لم تكن هذه المعلومات مشفرة بشكلٍ رقمي.

لا يحتوي الحمض النووي على معلومات شانون وحسب، بل يحتوي أيضًا على معلومات وظيفية أو نوعية، حيث يكون ترتيب النكليوتيدات في الحمض

النووي -وكذا ترتيب الأحماض الأمينية في البروتين- بعيد الاحتمال إلى حد بعيد؛ لذا فهي تحمل كميات كبيرة من معلومات شانون، غير أن وظيفة الحمض النووي والبروتينات تعتمد على الترتيب شديد النوعية للأسس والأحماض الأمينية بها.

وبالمثل، تمثِّلُ المخططات الجسدية الحيوانية ترتيبات مادية شديدة النوعية وبعيدة الاحتمال إلى حدٍ بعيد، إذ يعتمد الشكل المتعضي ووظائفه الحيوية على الترتيب النوعي للمكونات المختلفة عند نشوئها أو مشاركتها في النماء الجنيني، لذا فإن الترتيب النوعي لأحجار بناء الشكل الحيوي -الخلايا، والتجمعات الخلوية متشابهة النمط، والdGNRs، والأنسجة والأعضاء- تمثل نوعًا من المعلومات الوظيفية أو المخصصة.

أشرت في الفصل الثامن إلى أن السهولة التي انطبقت بها نظرية شانون للمعلومات على البيولوجيا الجزيئية تؤدِّي أحيانًا إلى لبس حول نوع المعلومات في جزيئات الحمض النووي والبروتينات، كما تؤدي أيضًا إلى خلق لبس حول أماكن تخزين المعلومات النوعية ضمن الكائن الحي. غالبًا ما يتعامل علماء الأحياء مع جزيئات DNA وRNA والبروتينات على أنها المخازن الحصرية للمعلومات الحيوية، وربما يرجع ذلك إلى إمكانية حساب قدرة الجينات على حمل المعلومات بسهولة.

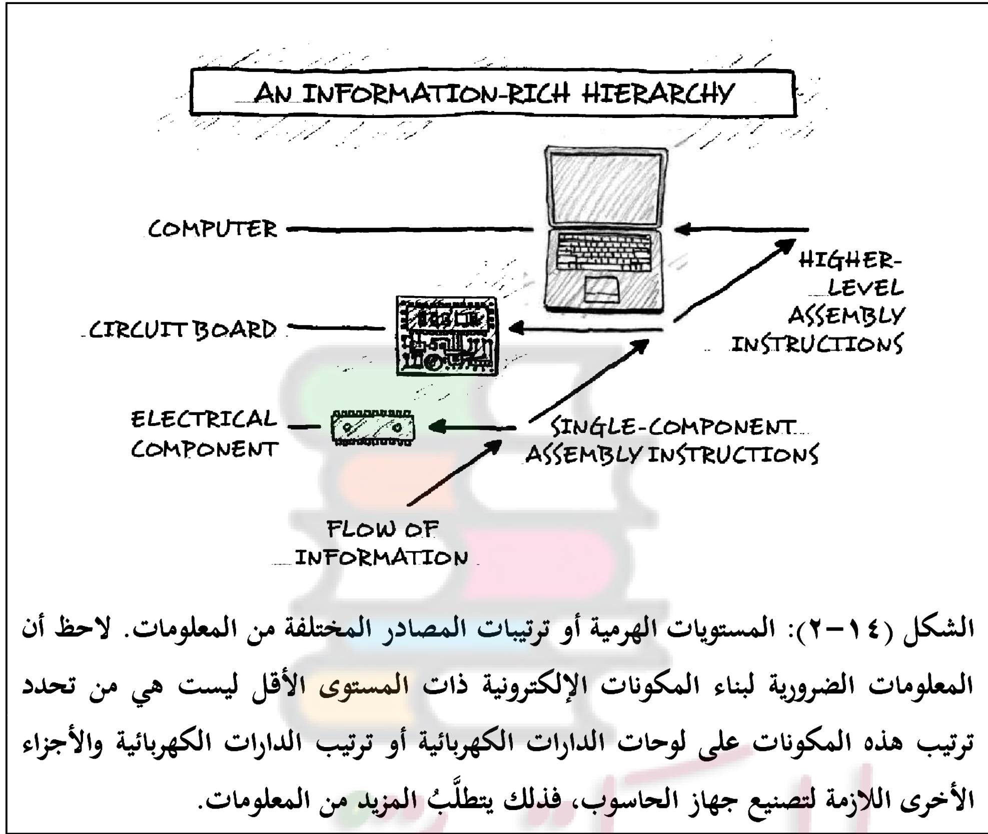
يفترض الداروينيون الجدد أن الجينات تَملك كل المعلومات الأساسية لتوصيف شكل الحيوان، ويفترضون أيضًا أن الطفرات الجينية ستكفي لخلق المعلومات الجديدة الضرورية لبناء شكل جديد من أشكال الحياة الحيوانية[٩]، لكن إذا نظر العلماء إلى الشكل المتعضي على أنه نتيجة لتقييدات على الترتيبات الممكنة للمادة على مستويات متعددة في الهرم البيولوجي -بداية من الجينات

والبروتينات مرورًا بأنماط الخلايا والأنسجة وصولًا إلى الأعضاء ومخططات الجسد-، فربما تستطيع الكائنات الحية عرض مستويات متعددة من البنى الغنية بالمعلومات، وقد أكَّدت هذه الإمكانية الاكتشافات الجديدة في مجال علم الأحياء النمائي.

خارج حدود الجينات

تخلَّى كثير من علماء الأحياء عن فكرة أن DNA هو من يوجه فعليًّا كل ما يحدث في الخلية، والآن يكتشف علماء البيولوجيا التطورية المزيد والمزيد من الأساليب التي تنقل فيها -بوساطة شكل الخلايا الجنينية وبنيتها- المعلومات المهمة لبناء المخطط الجسدي، بما في ذلك المعلومات الواردة من البويضات المخصبة وغير المخصبة. يشير علماء الأحياء الآن إلى مصادر المعلومات تلك بالمعلومات فوق الجينية[١٠]، وتجربة سبيمان ومانغولد هي واحدة فقط من ضمن العديد من التجارب التي ترجح وجود شيء غير الحمض النووي يؤثر في نماء المخططات الجسدية الحيوانية. منذ ثمانينيات القرن العشرين اكتشف العديد من علماء الأحياء النمائية وعلماء الخلية -مثل Brian Goodwin و Wallace Arthur وStuart Newman وFred Nijhout وHarold Franklin- العديد من مصادر المعلومات فوق الجينية أو حللوها، حتى علماء البيولوجيا الجزيئية مثل Sidney Brenner -الذي هو رائد فكرة أن البرامج الجينية توجه النماء الحيواني- يصرون الآن على أن المعلومات المطلوبة لترميز الأنظمة الحيوية المعقدة قد تجاوزت بوضوح المعلومات الموجودة في DNA.[١١]

يساعد DNA في توجيه تصنيع البروتين، كما تساعد أجزاء من جزيء DNA في تنظيم توقيت المعلومات الجينية وتعبيرها وتصنيع البروتينات المختلفة في الخلايا، وحالما يتمُّ تركيب البروتينات يجب أن تترتب في أنظمة راقية من البروتينات والبنى. تُصنع الجينات والبروتينات من أحجار بنائية بسيطة –أسس نوكليوتيدية وأحماض أمينية على الترتيب– مرتبة بطرق معينة، وبالطريقة نفسها تُصنع أنماط الخلايا المميزة من أنظمة بروتينية متخصصة من بين أشياء أخرى. تتكون أعضاء الجسم من ترتيبات مخصصة من أنسجة وأنماط خلوية، وتتضمن المخططات الجسدية ترتيبات معينة من أعضاء متخصصة، لكن ليست الخواص البروتينية هي من تحدد ترتيباتها كليًّا في البنى والأنماط العليا[١٢]، فهناك مصادر أخرى للمعلومات ينبغي أن تساعد في ترتيب البروتينات الفردية في أنظمة بروتينية، وفي ترتيب الأنظمة البروتينية في أنماط خلوية، وفي ترتيب تلك الأنماط الخلوية في أنسجة، وفي ترتيب أنسجة مختلفة في أعضاء، ويجب أن تترتب أعضاء وأنسجة أخرى لتشكيل المخطط الجسدي.



الشكل (١٤-٢): المستويات الهرمية أو ترتيبات المصادر المختلفة من المعلومات. لاحظ أن المعلومات الضرورية لبناء المكونات الإلكترونية ذات المستوى الأقل ليست هي من تحدد ترتيب هذه المكونات على لوحات الدارات الكهربائية أو ترتيب الدارات الكهربائية والأجزاء الأخرى اللازمة لتصنيع جهاز الحاسوب، فذلك يتطلَّبُ المزيد من المعلومات.

هناك تشبيهان ربما يساعدان في إيضاح هذه النقطة: في مواقع البناء يستخدم العمال العديد من المواد مثل الأخشاب والأسلاك والمسامير والأنابيب والجدران والنوافذ، إلا أن مواد البناء ليست هي من تحدد خطة بناء أرض المنزل أو ترتيب المنازل في المجمع السكني.

بالطريقة نفسها تتكون الدارات الكهربائية من مكونات عديدة مثل المقاومات والمكثفات والترانزستورات، لكن هذه المكونات الأدنى ليست هي من تحدد ترتيباتها في الدارة المتكاملة (الشكل ١٤-٢). كذلك لا يدير الحمض النووي بنفسه طريقة تركيب كل بروتين في بنى أو أنظمة أكبر -أنماط خلوية وأنسجة

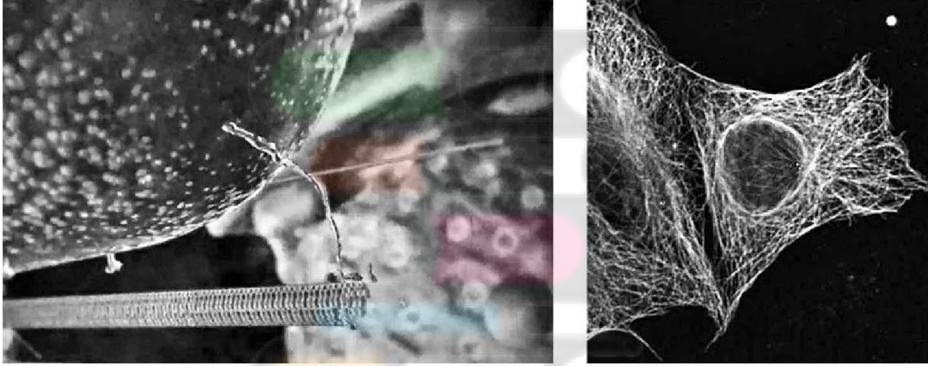
وأعضاء ومخططات جسدية– أثناء النماء الجنيني الحيواني[١٣]، بل يلعب أسلوب البناء المكاني أو البنية ثلاثية الأبعاد للخلايا الجنينية دورًا مهمًا في تحديد تشكل المخطط الجسدي أثناء تشكل الجنين، وقد تعرَّفَ علماءُ الأحياء النمائية على العديد من مصادر المعلومات فوق الجينية في هذه الخلايا.

نظم الهياكل الخلوية

تَمتَلِكُ الخلايا حقيقية النوى هياكل داخلية تعطيها شكلها واستقرارها، تتكون هذه الهياكل الخلوية من أنواع مختلفة متعددة من الخيوط filaments التي منها ما يعرف بالأُنَيْبِيْبَات –تصغير أنبوب– microtubules، يؤثر موقع هذه الأنيبيبات وبنيتها في تشكيل الأجنة ونمائها، وتساعد هذه المنظومات في توزيع البروتينات الأساسية في مواقع محددة في الخلية أثناء مرحلة النماء، فبمجرد وصولها تؤدِّي هذه البروتينات وظائف حاسمة للنمو، لكن عملها مرتبط جوهريًّا بوصولها إلى مواقعها الصحيحة، ويتمُّ ذلك بمساعدة الأنيبيبات الموجودة مسبقًا والمعدة بدقَّة، أو ما يُسمى بنظم الهياكل الخلوية (الشكل ١٤–٣)؛ لذا يمثل الترتيب الدقيق للأنيبيبات في الهيكل الخلوي صورة من صور المعلومات البنيوية الحاسمة.

تُصنع أنظمة الأنيبيبات من بروتينات تسمى (تيوبولين) تنتج عن الجينات، لكن مع ذلك تكون جزيئات التيوبولين التي في الأنيبيبات متطابقة تمامًا كَلَبِنات البناء التي تستخدم لإنشاء أشكال مختلفة من الأبنية، لذلك لا تستطيع وُحيدات التيوبولين ولا حتى الجينات التي تصنعها، أن تفسر الاختلافات في أشكال أنظمة الأنيبيبات التي تميز الأنماط المختلفة من الأجنة وطرق نمائها، بل تحدد بنية تلك النظم بموقع وُحيداتها وترتيب وحيداتها وليس بخصائص تلك الوحيدات، وكما قال

جوناثان ويلز بهذا الصدد: «المهم في النماء الجنيني هو شكل نظم الأنيبيبات وموقعها، ولا يتحدد شكل الأنيبيبات وموقعها بوحداتها المكونة لها»[١٤]؛ لهذا السبب من المستحيل التنبؤ ببنية الهيكل الخلوي من خواص مكوناتها البروتينية، وهو ما أشار إليه خبير بيولوجيا الخلية من جامعة كولورادو Franklin Harold.[١٥]



الشكل (١٤-٣): يظهر الشكل (١٤-٣)a: (على اليسار) لقطة ثابتة من فيلم يجسد الأنيبيبات -في أسفل الصورة- المصنوعة من بروتين التيوبولين. الصورة بإذن من جوزيف كونديلس. ويظهر الشكل (١٤-٣)b: (على اليمين) صورة مجهرية لقطاع كبير من الهيكل الخلوي المصنوع من العديد من الأنيبيبات -ومكونات أخرى- بداخل خلية في مقطع عرضي. الصورة بإذن من شركة The Company of Biologists، ومجلة علم الخلية Journal of Cell Science.

يؤثِّرُ مكون خلوي آخر في ترتيب منظومات الأنيبيبات، بالتالي يؤثر في البنى المضبوطة التي تشكلها تلك المنظومات وفي الوظائف التي تؤديها، يسمى هذا المكون في الخلايا الحيوانية الجسيم المركزي centrosome، وهو عضي مجهري يتوضع بجانب النواة في الفترات بين الانقسامات الخلوية في الخلية التي ليست في طور الانقسام، تنطلق من الجسيم المركزي منظومة الأنيبيبات التي تُعطي

الخلية شكلها ثلاثي الأبعاد وتزودها بالممرات الداخلية التي تستخدم لإجراء عملية النقل الموجه التي تطبق على العضيات والمركبات الأساسية من النواة وإليها[١٦]، وأثناء انقسام الخلية يضاعف الجسيم المركزي نفسه، فيمثل الجسيمان المركزيان الناتجان (قطبي جهاز انقسام الخلية)، وترث كل واحدة من الخليتين البنتين جسيمًا مركزيّا، إلا أن هذا الجسيم المركزي لا يحتوي على حمض نووي[١٧]، ورغم أن الجسيمات المركزية مكونة من بروتينات –وهي نواتج جينية– إلا أن بنية الجسيم المركزي لا تحددها الجينات وحدها.

أنماط الأغشية

هناك مصدر آخر مهم للمعلومات فوق الجينية في أنماط البروتينات ثنائية الأبعاد في الأغشية الخلوية[١٨]، فمن أجل أن تؤدي جزيئات RNA مرسال وظائفها –عندما تنتسخ– تأدية مناسبة، يجب أن تنقل منتجاتها البروتينية إلى المواقع المناسبة في الخلايا الجنينية. يُدخل النقل الموجه الهيكل الخلوي في عمله، لكنه يعتمد أيضًا على أهداف متوضعة فراغيًّا في الغشاء، تكون في طور العمل قبل أن تحدث عملية الانتقال، وقد أوضح علماء البيولوجيا النمائية أنَّ هذه الأنماط الغشائية تلعب دورًا حاسمًا في نماء جنين ذبابات الفاكهة.

الأهداف الغشائية

على سبيل المثال، يتطلَّبُ النماء المبكر لجنين ذبابة الفاكهة Drosophila melanogaster جزيئات Bicoid وNanos تنظيمية –وغيرها–، فالأول يلزم لتكوين الجزء الأمامي (الرأس) بينما يلزم الآخر لتكوين الجزء الخلفي (الذيل)[١٩]، وفي المراحل الأولى من النماء الجنيني تضخ خلايا حاضنة جزيئات رنا بيكويد

ونانوس داخل البويضات –حيث تزود هذه الخلايا الحاضنة الخلية التي ستصبح بويضة oocyte والجنين ببروتينات إضافة إلى جزيئات RNA مرسال مرمزة من الأم– ثم تنقل منظومات الهيكل الخلوي جزيئات الـRNA هذه عبر الخلية البيضية، حيث تَلتصِقُ تلك الجزيئات بأهداف نوعية على السطح الداخلي للخليَّة البيضية، وبمجرد وجودها في أماكنها الصحيحة –وليس في أماكن أخرى– يلعب البيكويد والنانوس دورًا أساسيًّا في تنظيم محور (الرأس–ذيل) عند ذبابة الفاكهة النامية، ويفعلان ذلك بتشكيلٍ مدروجي تركيز أحدهما ببروتين البيكويد الذي يتركز معظمه في النهاية الأمامية، والآخر ببروتين النانوس الذي يتركز معظمه في النهاية الخلفية.

بما أنَّ هذين الجزيئين هما جزيئا RNA (أي أنهما ناتجان جينيان) تلعب المعلومات الجينية دورًا مهمًا في هذه العملية، لكن مع ذلك لا تضمن المعلومات في جينتي البيكويد والنانوس بنفسها سلامة وظيفة جزيئات الـRNA والبروتينات التي تَعملُ من أجلها الجينتان في التشفير، بدلًا من ذلك تحدد أهداف غشائية موجودة مسبقًا على السطح الداخلي للخلية البيضية مكان ارتباط هذه الجزيئات وكيفية أدائها لوظيفتها، وتزود الخلية بمعلومات حساسة –إحداثيات مكانية– لنمائها الجنيني.

القنوات الأيونية والمجالات الكهرومغناطيسية

يُمكن أن توفِّر أنماط الأغشية الخلوية أيضًا معلومات فوق جينية؛ وذلك بترتيب القنوات الأيونية ترتيبًا دقيقًا –وهي فتحات في الجدار الخلوي تمرُّ عبرها الشحنات الكهربية في كلا الاتجاهين–، فعلى سبيل المثال تستخدم إحدى أنواع هذه القنوات مضخة تشغلها جزيئات الـATP الغنية بالطاقة لنقل ٣ أيونات من

الصوديوم إلى خارج الخلية مقابل كل أيونين من البوتاسيوم يدخلان إلى الخلية، ولأن كلا الأيونين ذو شحنة موجبة واحدة (+Na، +K) يؤدِّي الفرق الصافي إلى تكوين مجال كهرومغناطيسي عبر غشاء الخلية.[٢١]

أظهرت التجارب أنَّ المجالات الكهرومغناطيسية لها تأثيرات على التخلق – أي أنها تؤثر على تكون الكائن المتنامي–، بمعنى أدق، أظهرت بعض التجارب أن التشويش المتعمد لهذه المجالات الكهربية يعيق النماء الطبيعي، بطرق توحي أن هذه المجالات تتحكم بعملية التخليق[٢٢]، إذ يمكن أن تحرض مجالات كهربائية مطبقة صنعيًّا هجرة الخلية وتتحكم بها، كما أن هناك دليلًا على أن التيار الكهربائي المتواصل يؤثر على التعبير الجيني، مما يعني أنّ المجالات الكهربية داخلية المنشأ ربما توفِّر إحداثيات مكانية تقود التخلق الجنيني.[٢٣] على الرغم من أنَّ القنوات الأيونية التي تولِّد المجالات تتكون من بروتينات قد يشفرها الـDNA –تمامًا مثلما أن الأنيبيبات تتكون من وُحَيدات يشفرها الـDNA–، إلا أنَّ أنماطها الغشائية ليست كذلك، لذا يؤثر توزع هذه القنوات الأيونية وترتيبها المكاني في نماء الحيوان، وكذلك تفعل معلومات الـDNA التي تشفر بروتينات التخلق.

راموز السكر

يعرف المختصون في علم الأحياء مصدرًا إضافيًّا للمعلومات فوق الجينية المخزنة في ترتيب جزيئات السكر على السطح الخارجي لغشاء الخلية، حيث يمكن أن ترتبط السكريات بجزيئات الشحوم المكونة للغشاء نفسه، وفي هذه الحالة تُسمَّى الشحوم السكرية (glycolipids)، أو يُمكن أن ترتبط بالبروتينات المنغمسة في الغشاء وتسمى في هذه الحالة بالبروتينات السكرية (glycoproteins).

يمكن أن تترابط السكريات البسيطة بطرق أكثر من تلك التي يمكن أن تترابط بها الأحماض الأمينية المكونة للبروتينات؛ لذا يمكن أن تكون أنماط سطح الخلية الناتجة معقدة تعقيدًا هائلًا، وكما يشرح عالم الأحياء Ronald Schnaar ذلك: "يمكن أن تتخذ كل وحدة بناء (سكرية) مواضع مختلفة عديدة، كما لو أن حرف A يرمز لأربع حروف حسب طريقة رسمه –واقفًا أو مقلوبًا أو ملقى على أحد جانبيه–، وفي الواقع يُمكن بإعادة ترتيب سبعة سكاكر بسيطة إنتاج مئات آلاف الكلمات الفريدة التي لا يتألف معظمها من أكثر من خمسة حروف".[٢٤]

تؤثِّرُ هذه البنى الغنية بالمعلومات وذات التسلسلات النوعية في ترتيب أنواع مختلفة من الخلايا في أثناء النماء الجنيني، لذا يدعو بعض المتخصصين في علم الخلية ترتيبات جزيئات السكر بـ(راموز السكر sugar code)، ويقارنون هذه التسلسلات بالمعلومات المشفرة رقميًّا المخزنة في جزيئات الـDNA[٢٥]، وكما يشير Hans-Joachim Gabius المتخصص بالكيمياء الحيوية، توفِّر السكاكر نظام "تشفير عالي الكثافة أساسيًّا للسماح للخلايا بالتواصل بكفاءة وسرعة من خلال تآثرات (interactions) سطحية معقدة"[٢٦]، وذكر أيضًا أنَّ هذه "الجزيئات السكرية تتفوق على الحموض الأمينية والنكليوتيدات إلى حد بعيد في قدرتها على تخزين المعلومات".[٢٧] لذا تمثل جزيئات السكر المرتبة بدقَّة على سطوح الخلايا تمثيلًا واضحًا مصدرًا آخر للمعلومات المستقلة عن تلك المخزنة في تسلسلات قواعد DNA.

الداروينية الجديدة وتحدّي المعلومات فوق الجينية

تُشكِّلُ المصادر المختلفة للمعلومات فوق الجينية في الخلايا الجنينية تحديًا هائلًا لكفاءة آلية الداروينية الجديدة، فطبقًا للداروينية الجديدة تَظهرُ بنى ومعلومات وأشكال جديدة نتيجة الانتقاء الطبيعي، الذي يعمل حسب طفرات عشوائية تحدث في مستوى منخفض جدًا من الهرم البيولوجي –ضمن النص

الجيني-، لكن يعتمد كل من تشكيل مخطط الجسد في أثناء النماء الجنيني والابتكارات الشكلية الكبرى عبر تاريخ الحياة على نوعية ترتيبات ذات مستوى أعلى في التسلسل الهرمي، مستوى لا يحدده الDNA وحده. إن لم يكن الDNA مسؤولًا كليًّا عن طريقة نماء الجنين -أي عن تخلق المخطط الجسدي- فيمكن أن تخضع تسلسلاته لطفرات لا نهائية دون أن تنتج مخططًا جسديًّا جديدًا، بصرف النظر عن الوقت المتاح وعدد المحاولات الطفرية الممكنة للعملية التطورية، لذلك فتعلقنا بفكرة الطفرات الجينية هو أمر خطأ بكل بساطة.

حتى في أفضل السيناريوهات -سيناريو يتجاهل البعد الكبير لاحتمالية توليد جينات جديدة بالطفرات والانتقاء- ستنتج الطفرات في تسلسلات DNA معلومات جينية جديدة وحسب، لكن بناء مخطط جسدي جديد يحتاج أكثر من مجرد معلومات جينية، يحتاج معلومات جينية ومعلومات فوق جينية، وهي معلومات -حسب التعريف- غير مخزنة في الDNA، بالتالي لا يمكن توليدها بحدوث الطفرات في الDNA. وعليه لا يمكن أن تولد آلية الانتقاء الطبيعي القائمة على الطفرات العشوائية في الحمض النوي بنفسها مخططات جسدية جديدة كتلك التي نشأت في الانفجار الكامبري.

الردود التي تعتمد فكرة محورية الجينات

تتكون العديد من البنى البيولوجية التي تنقل معلومات مهمة مكانية ثلاثية الأبعاد من بروتينات -مثل منظومات الهياكل الخلوية والقنوات الأيونية الغشائية-، لهذا السبب أصرَّ بعضُ علماء الأحياء على أنَّ المعلومات الجينية في الDNA التي تحمل شفرات هذه البروتينات هي -على أية حال- سبب وجود المعلومات المكانية في هذه البنى المتنوعة، لكن في جميع الأحوال ثبت أن هذه النظرة إلى

موقع المعلومات البيولوجية وإلى أصل الشكل البيولوجي -هذه النظرة المرتكزة على الجينات- نظرة غير ملائمة.

أولًا: على الأقل في حالة الجزيئات السكرية التي على سطح الخلية لا يكون لمنتجات الجينات أي دور مباشر، إذ تنتج المعلومات الجينية جزيئات البروتينات والRNA، لا سكريات وكربوهيدارات، وبالطبع تخضع شحوم سكرية وبروتينات سكرية مهمة -جزيئات السكر والبروتين المركبة، والسكر والدهون المركبة- للتعديل كنتيجة لسبل الاصطناع الحيوي المكونة من شبكات بروتينية، مع ذلك لا تحدد المعلومات الجينية التي تولِّد البروتينات في هذه السبل سوى بنية البروتينات ووظيفتها كل على حدة، ولا تحدد التآثرات المتناسقة بين البروتينات في تلك السبل التي تؤدي إلى حدوث التعديلات على السكريات.[٢٨]

الأهم هو أنَّ موقع بعض الجزيئات السكرية على السطح الخارجي للخلايا الجنينية يؤدي دورًا حاسمًا في الوظيفة التي تؤديها تلك الجزيئات في التواصل بين الخلايا وانتظامها الجماعي، إلا أن موقعها لا تحدده الجينات التي تحمل شفرات البروتينات التي يمكن أن تلتصق بها جزيئات السكر تلك، بل يبدو من الأبحاث أنَّ الأنماط البروتينية في الغشاء الخلوي تنتقل مباشرة من غشاء الخلية الأم إلى غشاء الخلية البنت في أثناء انقسام الخلية، لا بسبب التعبير الجيني في كل جيل جديد من الخلايا.[٢٩] فقد يكون سبب موقع الجزيئات السكرية وترتيبها هو الانتقال من غشاء إلى آخر، ذلك لأنها تكون مرتبطة بالبروتينات والشحوم.

فكِّر الآن في الأهداف الغشائية التي تؤدي دورًا حاسمًا في النماء الجنيني؛ وذلك بجذب جزيئات خاصة بعملية التخليق نحو مواقع نوعية على السطح

الداخلي للخلية. تتكون هذه الأهداف الغشائية إلى حدٍ كبير من بروتينات يحدد الDNA معظمها، ورغم هذا تفتقر الكثير من البروتينات للتوجيه الداخلي[٣٠]، وتنطوي فراغيًّا بأشكال مختلفة اعتمادًا على الوسط المحيط ضمن الخلية، هكذا يوفر هذا الوسط معلومات فوق جينية. أضف إلى ذلك أن العديد من الأهداف الغشائية تتضمن أكثر من بروتين واحد، كما أن هذه البنى المتعددة البروتينات لا تنتظم تلقائيًّا لتكون أهدافًا غشائية سوية البنية.[٣١] في النهاية، ليست البنية الجزيئية لهذه الأهداف الغشائية وحدها هي من تحدد وظائفها، بل يفعل ذلك أيضًا موقعها وتوزعها المحدَّدان، ولا تتحدد مواقع هذه الأهداف على السطح الداخلي للخلية بالمنتجات الجينية المكونة لها، تمامًا كما أنَّ الجسور المضروبة فوق نهر السين بباريس مثلًا لا تتحدد مواقعها بخصائص الحجارة المكونة لها.

بالمثل نَجِدُ أنَّ مضخة أيونات الصوديوم والبوتاسيوم في الأغشية الخلوية هي مكونة حقًا من بروتينات، مع ذلك للمرة الثانية نجد أن موقع هذه القنوات والمضخات وتوزيعها في غشاء الخلية هما سبب إنشاء حدود المجال الكهرومغناطيسي الذي يؤثر على النماء الجنيني، إذ لا تحدد المكونات البروتينية لهذه القنوات الأيونية مواقع تلك القنوات.

ومثل الأهداف الغشائية والقنوات الأيونية نجد أن الأنيبيبات مكونة أيضًا من العديد من الوحيدات البروتينية، التي هي –بلا جدل– منتجات للمعلومات الجينية. في حالة منظومات الأنيبيبات لا يدّعي المدافعون عن فكرة (مركزية الجينات) أن بروتينات التيوبولين تحدد الواحدة منها بناء هذه المنظومات، إلا أن بعضهم قال بأن بروتينات أخرى –أو تجمعات بروتينية أخرى– يمكن أن تحدد –وهي تعمل معًا– هذا الشكل الراقي بالمستوى. فعلى سبيل المثال أشار بعض علماء الأحياء

إلى أن ما يسمى بالبروتينات المساعدة أو البروتينات المصاحبة للأنيبيبات (MAPs) والتي تنتج طبعًا عن الجينات، تساعد في ترتيب وحيدات التيوبولين في منظومات الأنيبيبات.

لكن ليست الـMAPs –والكثير غيرها من البروتينات الضرورية في الواقع– سوى جزء من الحكاية، فمواقع الأهداف النوعية على السطح الداخلي للغشاء الخلوي أيضًا تحدد شكل الهيكل الخلوي، وكما ذكرنا سابقًا: لا تحدد المنتجات الجينية مواقع الأهداف التي تتكون منها. نجد بالمثل أن موقع الجسيم المركزي وبنيته –وهو المركز المنظم للأنيبيبات– يؤثران أيضًا في بنية الهيكل الخلوي، وعلى الرغم من أن الجسيم المركزي مكون من البروتينات إلا أن تلك البروتينات لا تحدد موقعه وتكوينه تحديدًا كاملًا.

وقد أظهر كل من المتخصص في علم البيولوجيا الجزيئية Mark McNiven من عيادة مايو (Mayo Clinic) والمتخصص في علم بيولوجيا الخلية Keith Porter –من جامعة كولورادو فيما مضى– أن بنية الجسيم المركزي والأنماط الغشائية ككل تنقل معلومات بنيوية ثلاثية الأبعاد تساعد في تحديد بنية الهيكل الخلوي ومواقع وحيداته[٣٢]، أضف إلى ذلك ما أثبته متخصصون آخرون عديدون في علم الأحياء أن المريكزين centrioles اللذين يشكلان الجسيم المركزي ينتسخان باستقلال عن انتساخ الـDNA، إذ يكتسب المريكزان الشقيقان شكلهما من البنية الكلية للمريكز الأم، لا من المنتجات الجينية الفردية التي تكونهما.[٣٣]

يظهر إثبات آخر من هذا النوع في الهدبيات ciliates –وهي كائنات حية كبيرة حقيقية النواة وحيدة الخلية–، إذ أثبت مختصون في علم الأحياء أن الجراحة

المجهرية لأغشية الهدبيات يُمكنُ أن تنتج تغيرات موروثة في الأنماط الغشائية دون إحداث أي تغيير في الـDNA[٣٤]، وهذا ما يوحي بفكرة أن الأنماط الغشائية –وليس المكونات الغشائية– تنطبع مباشرة على الخلايا البنت الناتجة، في كلتا الحالتين – في أنماط الغشاء والجسيمات المركزية– يَنتقلُ الشكل من البنية ثلاثية الأبعاد عند الأم إلى البنى ثلاثية الأبعاد عند الأبناء مباشرة، ولا تحتويه تسلسلات الـDNA بأكمله ولا البروتينات التي تحمل هذه التسلسلات شفراتها.[٣٥]

بل ينشأ شكل الخلية وبنيتها في كل جيل جديد نتيجة للنواتج الجينية والبنية والنظام ثلاثيي الأبعاد المتأصلين في الخلايا وأغشيتها وهياكلها الخلوية. تبنى العديد من الأبنية الخلوية من البروتينات، لكن البروتينات تجد جزئيًّا طريقًا لها للمواقع الصحيحة بمساعدة الأنماط والأنظمة ثلاثية الأبعاد الموجودة مسبقًا والمتأصلة في البنى الخلوية، إذ لا البنى البروتينية ولا الجينات التي تحمل شفراتها تستطيع بمفردها تحديد البنية والشكل ثلاثيي الأبعاد للكيانات التي تبنيها. صحيح أن الجينات توفر معلومات ضرورية، لكن غير كافية لنماء البنية ثلاثية الأبعاد داخل الخلايا والأعضاء والمخططات الجسدية.[٣٦] إذا كان الأمر كذلك، فلا يستطيع الانتقاء الطبيعي بمفرده –الذي يعمل نتيجة التغايرات الجينية والطفرات– إنتاج الأشكال الجديدة التي ظهرت في تاريخ الحياة.

الطفرات فوق الجينية

عندما أشرح هذا المفهوم في المحاضرات العامة أكون متأكدًا من أني سأسمع السؤال نفسه كل مرة، إذ سيقوم أحد المستمعين ويسأل عما إن كانت الطفرات يُمكنها تعديل البنية الحاملة للمعلومات فوق الجينية، وسيتساءل عمَّا إن

كان في استطاعة التغيرات في المعلومات فوق الجينية أن تقدِّمَ التنوع والتجديد الذي يحتاجه الانتقاء الطبيعي لاستحداث شكل جديد، بالطريقة نفسها التي يتصور بها الداروينيون الجدد أن الطفرات الجينية تقوم بذلك، وأنه من المنطقي أن نسأل، لكن يبدو أن تحور المعلومات فوق الجينية لا يقدِّم طريقة واقعية لاستحداث أشكال جديدة من الحياة.

أولًا: البنى التي تتأصل فيها المعلومات فوق الجينية -كمنظومات الهياكل الخلوية والأنماط الغشائية على سبيل المثال- أكبر بكثير من أسس نوكليوتيدية مفردة أو حتى تسلسلات صغيرة من الحمض النووي، لهذا السبب ليست تلك البنى عرضة للتغيير من قبل كثير من المصادر التي تسبب الطفرة عادة وتؤثر على الجينات كالإشعاع والعوامل الكيميائية.

ثانيًا: إنْ وصلنا إلى الحد الذي يُمكن أن تتغير فيه البنى الخلوية، فستؤدِّي تلك التغيرات لعواقب ضارة أو كارثية في الغالبية الساحقة من الحالات، وقد تضمَّنت تجربة سيبمان ومانجولد الأصلية تغييرًا جبريًّا لمخزون هام من المعلومات فوق الجينية في الجنين النامي، لكن الجنين الناتج لم تكن لديه أية فرصة للبقاء على قيد الحياة في البرية، ناهيك عن التكاثر، رغم أنه لمن الممتع دراسته لما فيه من فائدة في توضيح أهمية المعلومات فوق الجينية.

قد يؤدي التغيير في البنى الخلوية التي تتأصل فيها المعلومات فوق الجينية إلى موت الجنين أو إلى نشوء ذرية عقيمة، ويرجع سبب ذلك -إلى حد كبير- إلى السبب نفسه الذي يجعل من تطفير الجينات التنظيمية أو الشبكات التنظيمية للجينات النمائية أمرًا موصلًا لنهايات تطورية مسدودة، فالمعلومات فوق الجينية

التي تقدمها البنى الخلوية المختلفة مهمة جدًا لنماء المخطط الجسدي، وتعتمد العديد من جوانب النماء الجنيني على التوضع الدقيق ثلاثي الأبعاد، وعلى موقع هذه البنى الخلوية الغنية بالمعلومات، فعلى سبيل المثال تَعتمِدُ جميع الوظائف الخاصة عند البروتينات التخليقية، والبروتينات التنظيمية التي تنتجها جينات هوكس القائدة للعملية التنظيمية، والشبكات التنظيمية للجينات النمائية (dGRNs) على موقع البنى الخلوية النوعية الغنية بالمعلومات والموجودة سلفًا؛ لهذا السبب يخرب تغيير هذه البنى الخلوية في جميع الأحوال شيئًا آخر ضروريًّا جدًا للمسار النمائي عند الكائن الحي، فتعتمد كثير جدًا من الكيانات المختلفة المشاركة في النماء على معلومات فوق جينية لتقوم بوظيفتها على أكمل وجه، وهذا يقصي احتمال وجود تغييرات عليها ذات أي تأثير مفيد أو حتى حيادي.

سأدرس في الفصل السادس عشر العديد من النظريات التطورية الجديدة، منها واحدة معروفة بـ(الوراثة فوق الجينية)، وسنرى أن هناك مزيدًا من الصعوبات المرتبطة بفكرة قدرة الطفرات في البنى فوق الجينية على إنتاج تجديد تطوري ذي أهمية.

الشذوذ الداروويني المتزايد

بنشر كتاب (أصل الأنواع) عام ١٨٥٩ قدَّم داروين -أولًا وقبل أي شيء- تفسيرًا لأصل الأشكال الحياتية، وفي ذلك الوقت اعترف بأنَّ نمط ظهور الحيوانات الكامبرية لا يتطابق مع الصورة التدريجية التي رسمها عن تاريخ الحياة، لذلك نظر إلى الانفجار الكامبري على أنه مشكلة نقصان في السجل الأحفوري بالدرجة الأولى.

بينت في الفصول (الثاني والثالث والرابع) لماذا ما تزال مشكلة الانقطاع في السجل الأحفوري ممثلة بظهور الأشكال الكامبرية تزداد حدة كل يوم منذ زمن داروين، بل من الواضح أن هنالك مشكلة أكثر جوهرية الآن تعتري صرح النظرية الداروينية الجديدة المعاصرة، إذ لمْ تضع الآلية الداروينية الجديدة في حسبانها أصل المعلومات الجينية أو فوق الجينية الضرورية لإنتاج أشكال جديدة من الحياة؛ لذا تبقى المشكلات التي يَطرحها الانفجار الكامبري في وجه النظرية دون حل، لكن –كما ذكر مولر ونيومان على وجه الخصوص– علاوة على ذلك تبقى المشكلة الرئيسية التي بدأ داروين رحلة البحث عن إجابة لها عام ١٨٥٩ (مشكلة أصل الشكل الحيواني عمومًا) عالقة بلا إجابة.[٣٧]

يقرُّ النقاد المعاصرون للداروينية الحديثة طبعًا أنَّ أشكال الحياة الموجودة سابقًا يمكن أن تتنوع تحت التأثير المزدوج للانتقاء الطبيعي والطفرة الجينية، إذ يمكن للعمليات المعروفة بالتطور الصغروي أن تفسِّرَ التغيرات الطفيفة في لون العث المنقط واكتساب المقاومة ضد المضادات الحيوية في ذراري بكتيرية مختلفة والتغيرات الدورية في حجم مناقير عصافير الغالاباغوس، لكن الكثير من المتخصصين في علم الأحياء الآن يقولون بأن النظرية الداروينية الحديثة لا تقدم تفسيرًا كافيًّا لنشوء المخططات الجسدية أو لأحداث كالانفجار الكامبري.

فعلى سبيل المثال عبّر المتخصص بالبيولوجيا التطورية Keith Stewart Thomson –من جامعة ييل Yale فيما مضى– عن شكه في أن التغيرات المورفولوجية واسعة النطاق يُمكن أن تتراكم بواسطة تغيرات طفيفة على المستوى الجيني.[٣٨] وقال المتخصص في علم الوراثة George Miklos –من الجامعة الوطنية الأسترالية– أنَّ الداروينية الجديدة لا تستطيع تقديم آلية تستطيع إنتاج

ابتكارات جديدة واسعة النطاق في الشكل والبنية.[٣٩] كذلك حاول المتخصصون بالبيولوجيا Scott Gilbert وJohn Opitz وRudolf Raff إنشاء نظرية جديدة في التطور لإمداد الداروينية الجديدة التقليدية التي قالوا بأنها لا تستطيع تفسير التغيرات التطورية الكبروية واسعة النطاق تفسيرًا كافيًا، إذ قالوا:

"بدأ العديد من المتخصصين في علم الأحياء في سبعينيات القرن العشرين بالشكِّ في كفاية الداروينية الجديدة في تفسير التطور، إذ ربما يكون علم الوراثة كافيًّا لتفسير التطور الصغروي، إلا أن التغيرات التطورية الصغروية في تواتر الجينات لم تكن تعد قادرة على تحويل الزواحف إلى ثدييات أو السمك إلى برمائيات، فالتطور الصغروي يختصُّ بالتكيفات وفق قاعدة (البقاء للأكثر تكيّفًا)، وليس (الوصول للأكثر تكيفًا)، وكما قال Goodwin عام ١٩٩٥: يبقى كتاب (أصل الأنواع) مشكلة داروين بلا حل".[٤٠]

حاول جيلبرت وزملاؤه حل مشكلة نشوء الأشكال باستخدام فكرة الطفرات في جينات تعرف بجينات هوكس –وهي التي تنظم التعبير عن الجينات الأخرى المشاركة في النماء الحيواني–، وهي الطريقة في الفهم التي سأتناولها شرحًا وتفصيلًا في الفصل السادس عشر، رغم ذلك فالعديد من المتخصصين في علم الأحياء وعلم الأحافير من أمثال (Gerry Webster وBrian Goodwin وGünter Theissen وMarc Kirschner وJohn Gerhart و Jeffrey Schwartz وDouglas Erwin وEric Davidson وEugene Koonin وSimon Conway Morris وRobert Carroll وGunter Wagner وHeinz-Albert Becker وWolf-Eckhart Lönnig وStuart Newman

وGerd Müller وStuart Kauffman وPeter Stadler وHeinz Saedler وJames Valentine وGiuseppe Sermonti وJames Shapiro وMichael Lynch.. على سبيل المثال لا الحصر) عرضوا تساؤلات عن كفاية الآلية المعيارية للداروينية الحديثة، أو عن مشكلة التجديد التطوري على وجه الخصوص[42]، لهذا السبب لا يبدو الانفجار الكامبري كأنَّه شذوذ صغير أدرك داروين وجوده، بل يبدو لغزًا عميقًا ومشكلة جذرية غير محلولة حتى الآن؛ ألا وهي (نشأة الشكل الحيواني).



الجزء الثالث

ماذا بعد داروين؟

الفصل الخامس عشر

عالم ما بعد الداروينية والتنظيم الذاتي

عالم ما بعد الداروينية والتنظيم الذاتي

يحمل العام ٢٠٠٩ الذكرى السنوية الخمسين بعد المائة لنشر كتاب (أصل الأنواع)، في تلك السنة نشر العالم الشهير المختص في علم الأحافير الكامبرية سايمون كونواي موريس مقالًا في مجلة Current Biology تحت عنوان "والكوت، صخور بورجس وإشاعات عن عالم ما بعد الداروينية Walcott, the Burgess Shale and rumours of a post-Darwinian world" مُقيّمًا الحالة الراهنة لعلم الأحياء التطوري قائلًا: "في كل مكان من كتاب أصل الأنواع تُسرد الحجج واحدةً تلو الأخرى بإتقان فيرتفع الصرح الشاهق، ويُتجاهل أنصار مذهب الخلق للأبد ويُتركون في الظل"، "لكن ليس الأمر كذلك عندما يتعلق بما يبدو وكأنه ظهور مفاجئ لأحافير الحيوانات".[١] لكن في الحقيقة إن المشاكل التي يَطرحها الانفجار الكامبري، والتي لم تحل بعد، "قد فتحت الباب أمام عالم ما بعد الداروينية"[٢] من وجهة نظر كونواي موريس. قد تساعدنا الأدلّة التي استعرضناها في الأجزاء السابقة من هذا الكتاب -الأدلة على ظهور فعليّ، وليس ظاهريًّا فقط، للأشكال الحيوانية في السجل الأحفوري بشكل مفاجئ يناقض ما تقتضيه آلية الداروينية الجديدة في تفسيرها لأصل الشكل الحيوي والمعلومات- قد تساعد هذه الأدلة على تفسير سبب دخول علم الأحياء لهذا العالم الجديد.

علاوة على ذلك، فإنَّ أيَّ شكٍّ في اعتناق بعض علماء الأحياء -على الأقل- لمنظور ما بعد الداروينية قد تلاشى تمامًا بحلول صيف ٢٠٠٨، عندما اجتمع ستة عشر عالمًا مؤثرًا في الأحياء التطورية لعقد مؤتمر خاص في معهد كونراد لورينز Konrad Lorenz في ألتينبيرغ Altenberg بالنمسا، حيث التقى

العلماء، الذين أطلقت عليهم وسائط الإعلام العلمية في وقت لاحق (علماء ألتنبرغ الستة عشر)[٣]، لاستكشاف مستقبل نظرية النشوء والارتقاء، وكان لدى علماء الأحياء هؤلاء العديد من الأفكار المختلفة، والمتناقضة أحيانًا، حول كيفية تطور أشكال جديدة من الحياة، لكن اتحد الجميع في الإيمان بأنَّ النظرية التركيبية الداروينية الجديدة قد ولّى عهدها، وأن هنالك حاجة إلى آليات تطورية جديدة لشرح نشوء الشكل البيولوجي، أوضح ذلك غراهام باد عالم الأحافير الذي كان من بين الحضور فقال: "عندما يفكر الجمهور في التطور، فإنهم يفكرون بأشياء مثل أصل الأجنحة... لكن لم تخبرنا نظرية التطور عن هذه الأمور إلا القليل".[٤]

وبطبيعة الحال، فإن تفسير نشوء الشكل البيولوجي هو على وجه التحديد ما جعل الانفجار الكامبري أمرًا غامضًا جدًا، ففي الفصل السابع عند مناقشة فكرة التوازن المتقطع، استشهدت بمختصي الأحافير الكامبرية جيمس فالنتاين ودوغلاس إروين اللذين استنتجا ذلك بالضبط، وناقشا "إن التوازن المتقطع والداروينية الجديدة كلاهما لا يفسران نشوء المخططات الجسدية الجديدة، بالتالي يحتاج علم الأحياء إلى نظرية جديدة تفسر تطور الابتكارات الحيوية".[٥]

سعى علماءُ ألتنبرغ الستة عشر لمواجهة هذا التحدي. فمنذ المؤتمر، بل وقبله بنحو عقدين من الزمان، عمل الكثير من علماء الأحياء التطورية على صياغة نظريات جديدة للتطور، أو على الأقل صياغة أفكار جديدة حول آليات تطور تَملِكُ قدرة إبداعية أكثر من الطفرة والانتقاء الطبيعي بمفردهما، تحاول كل نظرية من هذه النظريات الجديدة الإجابة عن السؤال الذي تزداد أهميته يومًا بعد يوم، وهو: ماذا بعد داروين أو الداروينية الجديدة؟

ثالوث الداروينية الجديدة

تستند آلية الداروينية الجديدة على ثلاثة مزاعم جوهرية هي:

١) يحدث التغير التطوري كنتيجة لاختلافات دقيقة وعشوائية –أو الطفرات–.

٢) تغربل عملية الانتقاء الطبيعي تلك الاختلافات والطفرات، من خلال إنتاج بعض الكائنات الحية المزيد من الذرية أكثر من غيرها (التكاثر التفاضلي differential reproduction) على أساس وجود أو غياب اختلافات معينة.

٣) يجب أن تورَّث الاختلافات المفضلة بدقَّة للأجيال اللاحقة من الكائنات الحية، وبالتالي تتسبب في تغير أو تطور الجماعة التي تنتمي إليها مع مرور الوقت.[٦]

أطلق عالما الأحياء مارك كيرشنر وجون غيرهارت على هذه العناصر الثلاثة التي هي (التنوع، والانتقاء الطبيعي، وقابلية التوريث) تسمية (الركائز الثلاث) لنظرية التطور الداروينية الجديدة.[٧]

عادةً ما يشكك أو يرفض بعض علماء الأحياء التطورية –الذين يشككون الآن بالنظرية الداروينية الجديدة التقليدية– عنصرًا واحدًا أو أكثر من ثالوث الداروينية الجديدة (الشكل ١٦–١)، فقد شكك كل من إلدردج و غولد في التدرج الدارويني، ممَّا قادهما إلى رفض فكرة حدوث التغيير بالطفرات بخطوات متزايدة دقيقة، أو بعبارة أخرى، رفض العنصر الأول في الثالوث الدارويني الجديد المذكور للتو.

كما رفض علماءُ أحياء تطورية آخرون منذ ذلك الحين بعض العناصر الأساسية الأخرى لآلية الداروينية الجديدة، وتطلعوا لاستبدالها بآليات أو عمليات أخرى. سيدرس هذا الفصل فئةً جديدةً من النماذج التطورية في مرحلة ما بعد

الداروينية الجديدة، والتي تحاول تفسير أصل الأشكال البيولوجية عن طريق التقليل من أهمية دور الطفرات العشوائية، والتشديد بدلًا من ذلك على أهمية قوانين أو عمليات (التنظيم الذاتي) في تطور الشكل البيولوجي.

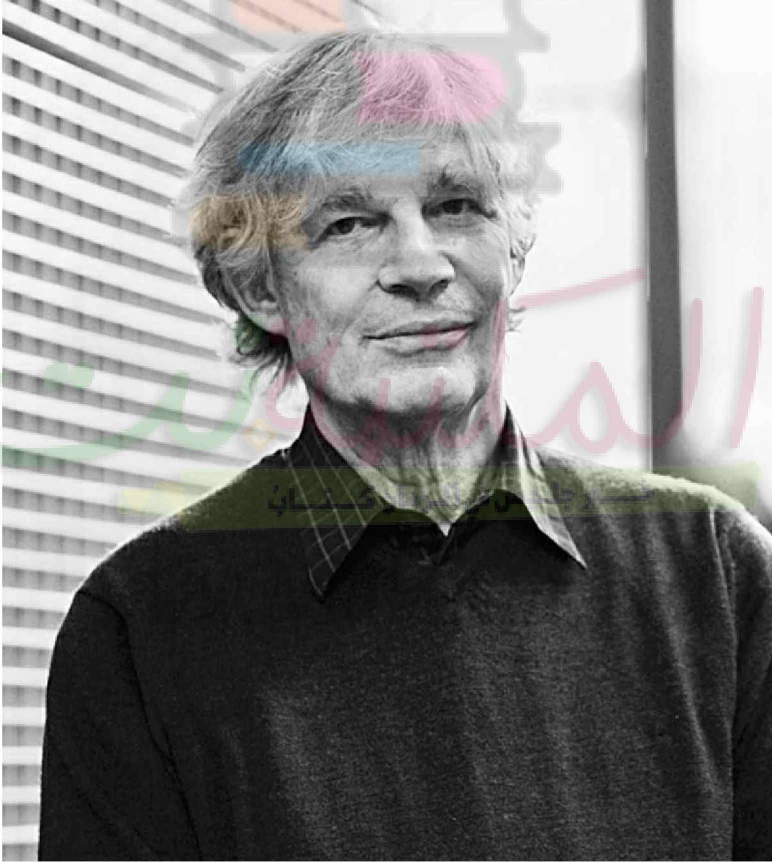
نماذج التنظيم الذاتي

قبل أن يلتقي علماء ألتنبرغ الستة عشر بمدة، بدأ عدد كبير من الباحثين في النظرية التطورية بالفعل باستكشاف بدائل لنظرية الاصطناع الدارويني الجديد، وكان التوازن المتقطع هو أحد تلك البدائل، لكن مع تزايد الانتقادات العلمية لتلك النظرية في ثمانينيات وتسعينيات القرن العشرين طورت مجموعة من العلماء متصلة بمركز أبحاث ومعهد (سانتا-في Santa Fe) في نيو مكسيكو New Mexico نهجًا نظريًّا جديدا، أطلقوا عليه (التنظيم الذاتي). ففي حين أن الداروينية الجديدة تفسِّرُ أصل الشكل البيولوجي والبنية كنتيجة لتأثير الانتقاء الطبيعي على الطفرات العشوائية، يرى واضعو نظرية التنظيم الذاتي أنَّ الشكل البيولوجي غالبًا ما ينشأ -أو ينظم ذاتيّا- بشكلٍ عفوي كنتيجة لقوانين الطبيعة -أو قوانين الشكل-، ويعمل الانتقاء الطبيعي على الحفاظ على هذا النظام الناشئ من تلقاء نفسه.

إنهم يرون أنَّ التنظيم الذاتي العَفْوي هو المصدر الأكبر للشكل البيولوجي الجديد، وأن الطفرات الوراثية العشوائية لا تقوم بهذا الدور، بالتالي فإنهم يقللون من أهمية جزأين من أجزاء ثالوث الداروينية الجديدة الكلاسيكي: أولهما الطفرات العشوائية، وثانيهما الانتقاء الطبيعي، وإن كان هذا الأخير بدرجة أقل.

في عام ١٩٩٣، أطلق أبرز عالم في معهد سانتا-في، والكيميائي الحيوي من جامعة بنسلفانيا سابقًا ستيوارت كوفمان (الشكل ١٥-١) أطروحة طال انتظارها

بعنوان (أصول النظام: التنظيم الذاتي والانتقاء في التطور The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution)[8]، طرح فيها كوفمان نقدًا حادًا للقوة الإبداعية لآلية الطفرة والانتقاء، مؤكدًا على بعض الانتقادات التي ذُكرت هنا في الفصول السابقة. لقد قدَّم كوفمان نظرية بديلة شاملة لتفسر انبثاق الشكل الحيوي الجديد، كما تقدم باقتراح معين لشرح الانفجار الكامبري.[9]



الشكل (١٥-١): ستيوارت كوفمان.

ينبه كوفمان إلى أنَّ نماء مخطط جسد الحيوان يتضمن مرحلتين (التمايز الخلوي) و(تنشؤ المخطط الجسدي) –تنظيم الخلايا–، واستكشف إمكانية أن تساعد عمليات التنظيم الذاتي التي تؤدي وظيفتها حاليًا –تحديدًا في التمايز الخلوي وتشكل المخطط الجسدي– في تفسير نشوء الأشكال الحيوانية الجديدة في الماضي.

يقترح كوفمان أولًا أن شبكات الجينات التنظيمية في خلايا الحيوان –الجينات التي تنظم الجينات الأخرى– تؤثر في التمايز الخلوي، وهي تفعل ذلك عن طريق توليد نماذج من "سبل تمايز" يمكن التنبؤ بمسارها[10]، وهي تتابعات يظهر من خلالها نوع خلوي من نوع آخر مع استمرار انقسام الخلايا أثناء مراحل النماء الجنيني.

على سبيل المثال، في وقت مبكر من النماء الجنيني سينقسم نمط من الخلايا، نرمز له مثلًا بالنمط A، ويعطي نوعين آخرين من الخلايا، مثلًا B وC، والتي سوف تولِّد في نهاية المطاف أنواع الخلايا (D وE) و(F وG) على التوالي، والعديد من أنواع الخلايا الأخرى مع استمرار هذه العملية. يشير كوفمان إلى أنَّ سبل التمايز هذه "قد تعكس خواص التنظيم الذاتي في الشبكات الجينومية التنظيمية المعقدة".[11] وبعبارة أخرى، تحدد شبكات الجينات التنظيمية في الخلايا الجنينية سبل انقسام وتمايز الخلايا. بما أن هذه الأنماط من التمايز بين الخلايا قد تحدُّدها الجينات التنظيمية، فإن كوفمان يعتبرها منتجات ثانوية لا مفرَّ منها، ناتجة عن عمليات التنظيم الذاتي. علاوة على ذلك، بما أن "سبل التمايز الخلوي موجودة في جميع الكائنات الحية متعددة الخلايا على المفترض منذ ما قبل العصر الكامبري"[12]، فهذا جعله يقترح أن خصائص الترتيب الذاتي "الكامنة في فئة واسعة

من الشبكات التنظيمية الجينومية"[١٣] قد لعبت دورًا هامًا في نشوء الأشكال الحيوانية.

يحتج كوفمان بمثل ذلك على أهمية عمليات التنظيم الذاتي خلال مرحلة تنشؤ المخطط الجسدي، وهي المرحلة الثانية من مراحل النماء الجنيني للحيوان. لا تنطوي هذه المرحلة كثيرًا على تمايز نوع من الخلايا عن نوع آخر، لكن تشمل ترتيب وتنظيم الأنواع المختلفة من الخلايا في الأنسجة والأعضاء المختلفة والتي تشكل معًا مختلف المخططات الجسدية الحيوانية. يشير كوفمان مرة أخرى إلى عمليات معروفة لنماء المخطط الجسدي، ويقترح أنها ربما لعبت دورًا هامًا في تشكيل المخططات الجسدية الحيوانية الأولى. ويستشهد بأهمية المعلومات البنيوية أو "الموضعية"[١٤] في الخلايا والأغشية الخلوية كعوامل هامة تحسم كيفية تنظيم الأنماط الخلوية المختلفة في مخططات جسدية حيوانية مختلفة. وقد ناقشتُ أهمية هذه المعلومات (فوق الجينية) على النماء الجنيني للحيوان في الفصل الرابع عشر وشرحت السبب الذي يجعل منها مشكلة لنظرية الداروينية الجديدة.

بتمييز أهمية مثل هذه المعلومات فوق الجينية يكون كوفمان قد رفض أيضًا ادِّعاء الداروينية الجديدة بأن هناك برنامجًا جينيًّا يُحدد بالكلية النماء الجنيني للحيوان، بل يعتبر أن الطرز النمائية التي تَنتج عن هذه المعلومات الموضعية دليلٌ على ميل المادة للتنظيم الذاتي، وعلى وجود قوانين الشكل البيولوجي. لكن هل تشرح ميول الترتيب الذاتي هذه أو قوانين الشكل -لو كانت موجودة- أصل المخطط الجسدي الحيواني والمعلومات اللازمة لبنائه؟ سيكون الجواب بالنفي.

التنظيم الذاتي والمعلومات فوق الجينية

لنعرف السبب دعونا ننظر أولًا، كيف يحاول كوفمان شرح المعلومات "الموضعية" فوق الجينية التي توجه تنظيم الخلايا في المرحلة الثانية من نماء

الحيوان جنينيًّا، حاول كوفمان شرح هذه المعلومات "الموضعية" من خلال وضع مقترح افتراضي تمامًا ينطوي في جوهره على مصادرة على المطلوب، حيث لجأ لفكرة ذكرها باختصار في أربعينيات القرن العشرين عالم الرياضيات الإنجليزي الشهير آلان تورينج[١٥] الذي اقترح أن الترتيبات النوعية للخلايا في مراحل النماء الجنيني الحيواني يُمكن أن تستمد في النهاية من ظاهرة انتشار diffusion الجزيئات الهامة وترتبها بشكل معين، مثل البروتينات محدِثة التخلق الموجودة في الخلايا الجنينية –يُذكر أن محدثات التخلق morphogens أو البروتينات محدثة التخلق، تؤثر على تمايز وتنظيم الخلايا خلال النماء الحيواني–. بدلًا من عزو توزع هذه البروتينات إلى معلومات جينية وفوق جينية موجودة مسبقًا في الخلايا، كما يحدث أثناء النماء في الحيوانات المعاصرة، فقد افترض تورينج أن توزيع هذه الجزيئات قد نشأ في المقام الأول بشكلٍ مستقل عن هذه المعلومات نتيجة لتفاعلات كيميائية بسيطة، كما تصور أن الجزيء الواحد يُنتج نسخة من نفسه (تحفيز ذاتي) وينتج جزيئًا آخر مختلفًا أيضًا، وتصور بعد ذلك أن أحد هذين الجزيئين يثبط إنتاج الآخر، بالتالي يسمح –من خلال دورات متكررة– بإنتاج المزيد والمزيد من جزيء واحد، وينقص الآخر أكثر فأكثر. اعتقد تورينج أن عدم الانتظام في طرز توزيع تلك الجزيئات الناتج من ذلك سوف يؤدي في نهاية المطاف إلى طرز غير منتظمة في توزيع الخلايا المختلفة، وربما ينتج عنه أشكال حيوانية مختلفة.

فصّل كوفمان في هذه الفرضية كوسيلة لفهم كيفية تنظيم معلومات "الموضع" الهامة كنتيجة للتفاعلات الكيميائية بين الجزيئات المختلفة، لكنّ اقتراحه يواجه تحديًا واضحًا، فهو يفتقر إلى أي تحديد كيميائي أو بيولوجي. ففي

سياق شرح الاقتراح لا يذكر كوفمان أيًّا من المواد الكيميائية أو البروتينات التي من شأنها التصرف بالطريقة التي يتصورها. وبدلًا من ذلك، فهو يَصِفُ سلوك الجزيئات الافتراضية التي ميزها بألقاب غير واضحة "X" و "Y"، الأهم من ذلك هو أن كوفمان لم يعرض أي دليل على أن تفاعل المواد الكيميائية بالطريقة التي يتصورها يمكن أن يخلق توزيعًا أو تهايؤا فراغيًّا محددًا من البروتينات المحدثة للتخلق، يكون صالحًا من الناحية البيولوجية، وذلك بعيدًا عن العمليات التي تنتج اليوم توزيعات مرتبة خصيصًا من هذه البروتينات الموجودة في الخلايا الجنينية الموجودة مسبقًا والغنية بالمعلومات.

بدلاً من ذلك، فمن غير المعقول أصلًا أن نعتقد أنَّ التحديد اللازم لتنسيق تحركات وترتيبات مليارات أو تريليونات الخلايا الموجودة في الأشكال الحيوانية البالغة يُمكن أن تُبنى عن طريق تفاعل مادة أو مادتين من المواد الكيميائية البسيطة، حتى ولو شكلتا دورات ذاتية التحفيز. يبدو أن كوفمان نفسه يعترف ضمنيًّا بصعوبة إنتاج التحديد البيولوجي من تفاعلات المواد الكيميائية وحدها، وقد ذكر في نقده الشخصي لنسوذجه الخاص أن أنماط انتشار الجزيئات التي ينتجها التحفيز الذاتي الكيميائي ستعتمد بشكلٍ حاسم على "الشروط الابتدائية".[١٦] بعبارة أخرى، سيتطلب الحصول على الترتيبات الغنية بالمعلومات المهمة بيولوجيًّا من البروتينات المحدثة للتخلق البدء بترتيب عالي التحديد –ويفترض أنه غني بالمعلومات– لجزيئات التحفيز الذاتي.

يواجه كوفمان المشكلة ذاتها في محاولته لتفسير أصل الحياة الأولى كنتيجة لتفاعلات التحفيز الذاتي بدءًا من الحساء ما قبل الحيوي. وفي كتابه (أصل النظام The Origins of Order) يعترف كوفمان بأن توليد مجموعة من الجزيئات ذاتية

التحفيز أو (ذاتية التكاثر) –وهو ما يُعد خطوةً حاسمةً في السيناريو الذي يتصوره لنشأة الحياة– سيتطلب "تحديدًا جزيئيًّا عاليًا"[١٧] في مجموعة الببتيدات أو جزيئات RNA الابتدائية، أي أن ذلك سيتطلب تحديدًا في الترتيب والبنية، بمعنى أنه يحتاج للمعلومات الوظيفية.

التنظيم الذاتي والمعلومات الوراثية

ماذا عن المعلومات الوراثية النوعية اللازمة للمرحلة المبكرة من النماء الحيواني على وجه التحديد؟ هل تفسر نظرية التنظيم الذاتي لكوفمان أصل (شبكات الجينات التنظيمية) اللازمة للتمايز بين الخلايا؟ مرة أخرى لا تفعل، بل إنها هنا تصادر على المطلوب بشكل أوضح حول أصل هذه الشبكات التنظيمية. رغم أنَّ كوفمان يناقش التمايز الخلوي كنوع من "الترتيب الذاتي" أو عملية التنظيم الذاتي، إلا أنه يعترف بأن سبل التمايز المتوقعة، التي تميز هذه العملية، تُستمد من شبكات جينات تنظيمية موجودة مسبقًا. قد ذكر كوفمان أن نزعات التنظيم التلقائي في عملية التمايز الخلوي "متأصلة في فئة واسعة من الشبكات التنظيمية في الجينوم".[١٨] والواقع أن المعلومات الوراثية الموجودة في شبكات الجينات التنظيمية لا تأتي من عمليات الترتيب الذاتي في التمايز الخلوي، بل يَنتُج تمايز الخلايا من مصادر معلومات وراثيةً موجودة مسبقًا، لدرجة أنه يمكنُ وصفها بدقَّة بـ(الترتيب الذاتي). هكذا، فإنَّ عملية التنظيم الذاتي التي يستشهد بها كوفمان لا يمكن أن تفسر أصل المعلومات الجينية؛ لأنها مستمدة منها، وفق ما يكشفه كوفمان بنفسه.

في كتابه اللاحق بعنوان (في وطننا الكون: البحث عن قوانين التنظيم الذاتي والتعقيد At Home in the Universe: The Search for the Laws of

(Self-Organization and Complexity يقدم كوفمان تمثيلًا حاسوبيا لاثنين من "الأنظمة النموذج model systems"[١٩] والتي تسعى لشرح الآلية التي انتظمت بها المعلومات الجينية ذاتيًّا، من حيث المبدأ على الأقل، وكمثال، يصفُ كوفمان منظومة أزرار متصلة بخيوط[٢٠]، حيث تمثل الأزرار جينات أو بروتينات جديدة، وتمثل الخيوط قوى التنظيم الذاتي القائمة على الجذب بين البروتينات. يشير كوفمان إلى أنَّه عندما يَصِلُ تعقيد هذا النظام إلى عتبة حرجة –ممثلًا بعدد الأزرار والخيوط–، فقد تنشأ أنماط جديدة من الترتيب في المنظومة "مجانًا"[٢١] –دون توجيه ذكي–، بطريقة مماثلة للطريقة التي يتغير بها الماء من تلقاء نفسه إلى جليد أو بخار في ظلٍّ ظروف محددة.

يطلب كوفمان من قرائه أن يتخيلوا نظامًا من عدة مصابيح متصلة ببعضها، يمكن لكل مصباح أن يتوهج بأوضاع مختلفة، فيومض أو ينطفيء أو يتلألأ بشكلٍ متقطع وهَلُمَّ جَرًّا. ولأن كل مصباح يُمكنه أن يتخذ أكثر من حالة واحدة ممكنة، فربما يتبنى النظام عددًا كبيرًا من الحالات الممكنة، علاوة على ذلك تقتضي قوانين هذا النظام أن الحالات الماضية تؤثر في الحالات المستقبلية. يؤكد كوفمان كنتيجة لهذه القواعد أن ضبط هذا النظام بشكل صحيح سيؤدي في نهاية المطاف لظهور نوع من التنظيم الذي تتكرر فيه بعض الأنماط الضوئية الأساسية بنسبة أكبر مما يمكن أن يحدث عشوائيًا. وبما أن هذه الأنماط تمثل جزءًا صغيرًا من إجمالي العدد الكلي للحالات الممكنة التي يمكن للنظام أن يمثلها، فإن كوفمان يُشير إلى أن قوانين التنظيم الذاتي قد تصل بالمثل لنتائج بيولوجية بعيدة الاحتمال، بل ربما تصل لتسلسلات وظيفية من الأسس النكليوتيدية أو الأحماض الأمينية ضمن فضاء كبير جدًا من الاحتمالات.

ليس من الصعب أن نرى سبب فشل هذه المحاكاة أيضًا في تفسير أصل الجينات والبروتينات الجديدة اللازمة لإنتاج الحيوانات الكامبرية، حيث يفترض كوفمان سلفًا في كلا المثالين وجود مصادر معلوماتية مهمة، ففي محاكاة الأزرار والخيوط كان يعني بالأزرار البروتينات، والتي هي بحد ذاتها نتاج المعلومات الوراثية الموجودة من قبل، ولكن من أين أتت تلك المعلومات؟ لا يذكر كوفمان شيئًا عن ذلك مع أن هذا جزء أساسي في تاريخ الحياة يحتاج للتوضيح.

وبالمثل نقول عن نظامه الضوئي، إذ يُشترط للتنظيم الذي ينشأ "مجانًا" وفق زعمه –أي دون إدخال طرف ذكي للمعلومات– أن يضبط المبرمج النظام –كما يعترف كوفمان بذلك– لمنعه من:

أ) أن يولد تنظيمًا شديد الصرامة والتصلُّب.
ب) أن يتحول إلى فوضى.[٢٣]

يُفترض أن يعني وجود هذا الضبط وجود مبرمج ذكي، يسمح بعمل بعض العوامل المؤثرة –البارامترات– ويستبعد بعضها الآخر، وهذا في الحقيقة هو إدخال للمعلومات، لكننا في الواقع نجد كوفمان عند تلخيصه لفحوى هذا القياس التوضيحي مصرًّا على أنه يُظهر كيف أن "انتظام الخلية المنسوب منذ زمان طويل لأدوات التطور الداروني، يبدو أنه على الأرجح قد نشأ من ديناميكيات الشبكة الجينومية"[٢٤]، أي من مصادر المعلومات الوراثية الموجودة من قبل وغير المفسرة.

بالإضافة إلى ذلك، فإنَّ نماذج أنظمة كوفمان لا تماثل النظم البيولوجية، لأنها لا تتقيد باعتبارات وظيفية. صحيح أنَّ نظام الأضواء المترابطة والذي تحكمه قواعد مبرمجة جيدًا في وقت سابق ربما يصل إلى عدد قليل من الأنماط داخل

فضاء احتمالي أكبر بكثير، لكنّ لأن هذه الأنماط لا تمتلك وظيفةً وليس من الضروري أن تلبي أي متطلبات وظيفية، فهذا يجعلها تفتقد أي تخصص شبيه بذلك الموجود في جينات الكائنات الفعلية. لا تنتج أنظمة كوفمان النموذجية أي تسلسلات أو أنظمة تتميز بتعقيد نوعي أو تنطوي على معلومات وظيفية، لكنها تنتج وحدات منتظمة متكررة بشكلٍ غير دوري، مما يؤدِّي إلى زيادة التعقيد المجرد –أي زيادة معلومات فقط وفق تعريف شانون–.[٢٥] إن الحصول على نظام لتوليد أنماط متكررة من الأضواء الساطعة ذي قوانين حاكمة –ولو حتى بوجود قدر معين من التنوع– لَهُوَ أمر مثير للاهتمام، لكنه ليس ذا صلة بالبيولوجيا. من ناحية أخرى، فإن نظام لوحة ضوئية مكتوب عليها "صوتوا لجونز" ستمثل نتيجة ذات صلة بيولوجية على الأقل في حال نشأ مثل هذا التسلسل الوظيفي من الحروف دون أي عامل ذكي يبرمج النظام بكميات مكافئة من المعلومات المحددة وظيفيّا.

كوفمان والعصر الكامبري

يَقتَرِحُ كوفمان أيضاً آليةً محددةً (للتنظيم الذاتي) لشرح بعض جوانب الانفجار الكامبري، فقد ظهرت الحيوانات الكامبرية الجديدة وفقاً لكوفمان من خلال طفرات كبيرة شبيهة بقفزات طويلة أسست للمخططات الجسدية الجديدة بطريقة متقطعة بدلًا من الطريقة التدريجية.[٢٦] يعرِف كوفمان أنَّ الطفرات التي تؤثر في النماء الجنيني المبكر ضارة لا محالة[٢٧]، لذا فإنه يخلص إلى أن المخططات الجسدية لن تتغير بمجرد نشأتها مهما كان التطور اللاحق لها، ويجعل هذا من فرضيته متسقة مع النمط التنازلي –من الأعلى إلى الأسفل– الذي نراه في السجل الأحفوري، والذي تظهر فيه التصانيف الأعلى –والمخططات الجسدية التي

تمثلها– في البداية، ثم يتبع ذلك نشوء التصانيف الأقل التي تمثل الاختلافات داخل تلك التصاميم الجسدية الأصلية.

حتى مع ذلك، فإنَّ فرضية كوفمان تصادر على السؤال الأهم: ما الذي أنتج المخططات الجسدية الكامبرية الجديدة في المقام الأول؟ إذ إن مجرد استدعاء فكرة (الطفرات الكبيرة) لا يحدد عملية التنظيم الذاتي التي يمكن أن تنتج مثل هذه التغييرات. علاوة على ذلك، فإن كوفمان يعترف بالمبدأ الذي يقوض فرضيته الخاصة، حيث أنه كما ذكرنا أعلاه يقرُّ بأن الطفرات المبكرة في النماء الجنيني ضارة لا محالة، رغم أن علماء البيولوجيا النمائية يعرفون أن هذه الطفرات هي النوع الوحيد الذي يَملكُ فرصة واقعية لإنتاج تغيرات تطورية على نطاق واسع –أي القفزة الكبيرة التي ذكرها كوفمان–. ومع أن كوفمان ينكر اعتماد الداروينية الجديدة على الطفرات العشوائية، فسيتوجب عليه أن يلجأ للنوع الأكثر لا معقولية من الطفرات العشوائية ليوفر تفسيرًا قائمًا على التنظيم الذاتي للمخططات الجسدية الكامبرية الجديدة.

الأدوات النمائية وعمليات التنظيم الذاتي

في الآونة الأخيرة، نشر ستيوارت نيومان –عالم أحياء الخلية في كلية طب نيويورك–، وهو مدافع آخر عن التنظيم الذاتي، في العديد من الصحف أنَّ عمليات التنظيم الذاتي يمكن أن تساعد في تفسير أصل المخططات الجسدية، وفي نشرة ضمن المجلد الذي أنتجه مؤتمر علماء ألتنبرغ الستة عشر يُطور نيومان نموذجًا يشبه ذلك الخاص بكوفمان، لكنه يقدم تحديدًا بيولوجيًّا أكبر.[٢٨]

يستند نيومان إلى عمليات التنظيم الذاتي مثل كوفمان، لكنه يرى أن هذه العمليات تعمل بشكل ديناميكي وبالتنسيق مع (صندوق الأدوات) الجيني، يؤكد نموذجه على أهمية مجموعة من الجينات التنظيمية المَصونة بعناية conserved – أي عالية التشابه– والموجودة في جميع التصانيف الكامبرية الكبيرة، وقد استُخدم (صندوق الأدوات الجيني النمائي)[٢٩] هذا بحسب رؤيته "لتوليد المخططات الجسدية الحيوانية وأشكال الأعضاء لأكثر من نصف مليار سنة"[٣٠] منذ فجر المملكة الحيوانية.

لكن إذا كانت جميع أصناف الحيوانات تملك صندوق الأدوات ذاته، فلماذا تكون الأشكال المختلفة من الحيوانات وتصانيف التوالي metazoan الأعلى مختلفة جدًا عن بعضها البعض؟ بالنسبة لنيومان تتطلب إجابة هذا السؤال فهم كيفية تأثير عمليات التنظيم الذاتي على تفاعل الخلايا أثناء النماء، وكيف أنها تسبب اكتساب الجينات لوظائف مختلفة تؤثر على تفاعلات الخلايا.

على سبيل المثال، يعزو نيومان ظهور الخلايا المتعددة إلى خلايا تكتسب القدرة "على الالتصاق ببعضها بعد الانقسام".[٣١] ولا تستمد هذه الخلايا تلك القدرة من إنتاج جينات وبروتينات جديدة –كما تفترض الداروينية الجديدة–، بل إنها تستمد ذلك من إعادة توظيف الجينات والبروتينات القديمة استجابةً لعمليات تنظيم ذاتي –وفوق جينية– محددة مثل (قوى الالتصاق الفيزيائية).[٣٢] يقترح نيومان أيضًا أنه بمجرد أن تنشأ الكائنات الحية الأولى متعددة الخلايا الأولى، فستكون لديها "مرحلةٌ تمهيديةٌ لإدخال عمليات فيزيائية إضافية أخرى للعمل"، وهي العمليات التي يمكن أن تغير تعبير ووظيفة جينات أخرى من الأدوات الوراثية النمائية، مما يؤدي إلى مخططات جسدية جديدة ومختلفة كليًا. وكما يوضح

نيومان: "فتحت ظاهرة الخلايا المتعددة آفاقًا لهذه الجزيئات لتصبح مشاركة في تشكيل الأجسام والأعضاء".[٣٤]

يتصور نيومان مخططات جسدية حيوانية جديدة، ناتجة عن التصاق خلايا مختلفة مع بعضها البعض في تهايؤات مختلفة، لوجود قوى مختلفة من التجاذب بين الجزيئات على سطح الخلايا، ولتوزع الجزيئات الحيوية داخل الخلايا بأنماط مختلفة. يسمي نيومان هذه القوى والعوامل ذاتية التنظيم بـ(وحدات النمذجة الديناميكية DPMs :dynamical patterning modules).[٣٥] يظهر الشكل (١٥–٢) بعض الطرق النموذجية لتجمع الخلايا أو ترتيب نفسها نتيجة لهذه القوى ذاتية التنظيم. يسرد نيومان قائمة من "وحدات النمذجة الديناميكية" أو قوى التنظيم الذاتي المسؤولة عن الظهور العفوي لهذه العناقيد الخلوية المختلفة، وتشمل القائمة: "الالتصاق، الاستقطاب polarization الشكلي والسطحي، التنقل بين الحالات البيوكيميائية، التذبذب البيوكيميائي biochemical oscillation، وإفراز عوامل قابلة وغير قابلة للانتشار".[٣٦]

DYNAMICAL PATTERNING MODULES (DPMs)

DPM NAME	WHAT IT DOES	WHAT IT LOOKS LIKE
ADH (ADHESION)	CAUSES ADHESION AMONG A GROUP OF UNAGGREGATED CELLS, ALLOWING FOR MULTICELLULARITY.	
LAT (LATERAL INHIBITION)	TAKES A GROUP OF AGGREGATED CELLS AND ALLOWS CO-EXISTENCE OF ALTERNATIVE CELL STATES WITHIN THE GROUP.	
DAD (DIFFERENTIAL ADHESION)	TAKES AN AGGREGATED GROUP OF DIFFERENT TYPES OF CELLS AND ALLOWS SEPARATION OF CELLS INTO MULTILAYERED TISSUES.	
POL_A (POLARITY, APICAL-BASAL)	TAKES A GROUP OF AGGREGATED CELLS AND CAUSES FORMATION OF INTERIOR CAVITIES.	
POL_B (POLARITY, PLANAR)	TAKES AN AGGREGATED GROUP OF CELLS AND CAUSES ELONGATION OF TISSUES WITHIN A PLANE.	
OSC (CHEMICAL OSCILLATION)	TAKES AN ELONGATED TISSUE AND CHEMICALLY INDUCES OSCILLATION OF CELL PATTERNS, ALLOWING SEGMENTATION OF A BODY PLAN.	

الشكل (١٥-٢): وحدات النمذجة الديناميكية (DPMs). تظهر الطرق المختلفة والتي تسمح للخلايا بالالتصاق والتجمع على بعضها لتنتج أشكالًا حيوانية أثناء مراحل النماء الجنيني، وذلك وفقًا لعالم الأحياء ستيوارت نيومان.

لتستوعب ما يجول في عقل نيومان، فكِّر في الخلايا كأحجار لعبة تركيبية (ليغو)، فهنالك العديد من الطرق المختلفة لتركيب تلك الأحجار اعتمادًا على شكل المكعبات ونمط النتوءات والفجوات الموجودة على أحجار اللعبة. تسمح هذه الأنماط بترتيب مجموعات صغيرة من الأحجار لتشكل وحدات بنيوية مختلفة: مكعبات، جدران، حلقات دائرية.. وهكذا دواليك. ويمكن تجميع تلك الوحدات البنيوية بعد ذلك لتصنع العديد من الهياكل الكبيرة المختلفة، مثل الطائرات وناطحات السحاب وصولًا للغواصات والقلاع. بطريقة مماثلة، يشير نيومان إلى أن

قوى الالتصاق المختلفة بين الخلايا والأنماط المختلفة من الانتشار الجزيئي داخل وبين الخلايا ستولد العديد من الأنماط أو التشكيلات المختلفة من التنظيم في الوحدات متعددة الخلايا، التي بدورها تَعملُ كعناصر تندمج بطرق مختلفة لتصنع الأشكال الحيوانية المتنوعة.[٣٧]

هل لعمليات التنظيم الذاتي هذه أن تفسر نشوء المخطط الجسدي الحيواني في الانفجار الكامبري أو المعلومات اللازمة لإنتاج أشكال حيوانية جديدة؟ مرة أخرى تأتي الإجابة بالنفي، فإما أن نيومان فَشِلَ -كما حصل لكوفمان- في تقديم آلية كافية لتوليد المصادر المهمة للمعلومات البيولوجية، أو أنه يصادر على المطلوب بافتراضه مسبقًا وجود مصادر مختلفة من المعلومات.

افتراض صندوق الأدوات

يفترض نيومان في المقام الأول وبوضوح وجودًا مسبقًا "لمجموعة أدوات جينية نمائية"، وهي مجموعة كاملة من الجينات التي تساعد على توجيه نماء المخطط الجسدي الحيواني، بما فيها الجينات التنظيمية، لكن من أين تأتي هذه المعلومات الوراثية؟ لا يحدِّد نيومان ذلك رغم أنه يفترض أن الآلية الداروينية الجديدة قد أنتجت بطريقة أو بأخرى المعلومات الوراثية في مجموعة الأدوات تلك. إذا كان الأمر كذلك، فهو يترك نموذجه عرضة للانتقادات المبينة في الفصول ٩ إلى ١٢، وهو بالتأكيد لا يذكر أي عملية تنظيم ذاتي محددة لتفسير أصل مجموعة الأدوات الجينية. يبدو أنه يفترض سلفًا بالخطأ أن الجينات الموجودة في صندوق الأدوات الجينية المشترك هذا تملك جميع المعلومات الوراثية اللازمة لتحديد المخطط الجسدي للفرد، لكن هذا يغفل مجموعة النتائج الأخيرة التي

تُظهر أن الأنواع المفردة ضمن تصانيف محددة تحتاج غالبًا إلى الجينات النوعية لهذه الأنواع والتصانيف من أجل نمائها.[٣٨] وهكذا، لن تكون هذه الجينات موجودةً في مجموعة الأدوات المشتركة عند التوالي metazoan من النوع الذي يُسلِّمُ به نيومان.

ثانيًا، لا يفسر نيومان أصل المعلومات اللازمة لتنظيم الوحدات أو مجموعات الخلايا في المخططات الجسدية الحيوانية ككل، حيث أن القوى العاملة في وحدات النمذجة الديناميكية تفسِّر في أحسن الأحوال ترتيب المجموعات الصغيرة من الخلايا، وليس ترتيب تلك العناقيد الخلوية في أنسجة وأعضاء ومخططات جسدية.

فكِّر مرة أخرى بمثالنا حول أحجار الليغو ولاحظ وجود العديد من الطرق لترتيب عدد صغير منها، تشكل هذه الترتيبات المختلفة عناصر بنيوية شائعةً مثل: أن يلتصق حجران معًا بزاوية قائمة، أو أن تشكل عدة أحجار منحنية حلقات دائرية، أو أن تشكل الأحجار المكدسة قوالب جوفاء أو جدران أو أشكالًا مكعبية، أو أن تشكل مخاريط أو أسطوانات، أو طبقات مسطحة من الأحجار المكدسة بسُمْك حجرين أو ثلاثة أو أكثر. رغم أن هذه العناصر البنيوية تلتصق معًا بسبب التفاعلات بين الفجوات والنتوءات في كل حجر، إلا أن تلك التضاريس نفسها الموجودة على الأحجار لا تحدد أي بنية خاصة أكبر –قلعة أو طائرة على سبيل المثال– بسبب إمكانية أن يتحد كل عنصر مع العديد من العناصر البنيوية الأخرى بطرق كثيرة مختلفة. لا يملي شكل وخصائص الوحدات الأولية نوع الهيكل الأكبر الذي يجب أن يُبنى منها، بل يكفي لبناء هيكل معين أن تكون تلك الوحدات مرتبةً بطرق معينة. ولأن هناك العديد من الطرق الممكنة لترتيب هذه الوحدات، فإن

طريقة واحدة فقط أو بضعة منها ستؤدي إلى البنية المطلوبة، وتنطوي كل مجموعة أحجار على مخطط مع التعليمات التفصيلية، أي على معلومات إضافية.

بطريقة مماثلة، فإن إنتاج مخطط جسدي من أنماط مختلفة من العناقيد الخلوية –التي تولدها وحدات النمذجة الديناميكية (DPMs) التي اقترحها نيومان– سيتطلب معلومات إضافية أيضًا، لكن لا يتطرق نيومان لذكر هذه المعلومات، إنما يُسلِّطُ الضوء الصحيح على الطريقة التي تبدو فيها عناصر تكرارية محددة كأنها تتشكل عفويًا ضمن (مجموعات خلوية منتظمة) كنتيجة للتفاعلات الفيزيائية بين الخلايا المفردة (DPMs)، لكنه مع ذلك لا يثبت أن على مجموعات الخلايا هذه أن ترتب نفسها إلى أنسجة أو أعضاء أو مخططات جسدية محددة كاستجابة لأي عملية فيزيائية أو قانون معروف، حيث يبدو من المحتمل تمامًا أن تملك عناصر الوحدات هذه –مجموعات الخلايا– العديد من "درجات الحرية"، بالتالي يمكنها أن تترتب بطرق لا تعد ولا تحصى. إذا كان الأمر كذلك، فنحن بحاجة لبعض المعلومات الإضافية –نحتاج لبرنامج تصميم شامل للمتعضية أو لمجموعة من تعليمات التجميع– لتوجيه ترتيب عناصر الوحدات هذه، لكن لا يأخذ نيومان هذا الاحتمال بعين الاعتبار، كما أنه لا يذكر أيّة عملية تنظيم ذاتي شبيهة القانون من شأنها أن تزيل الحاجة لمثل هذه المعلومات لتوجيه النماء الجنيني عند الحيوان.

لا تزال هناك مشكلة أخرى مع اقتراح نيومان، فحتى قدرة الخلايا على تنظيم نفسها في وحدات النمذجة الديناميكية ربما تُستمد من مصادر مُسبقة غير مفسَّرة من المعلومات. لا شكَّ في أن وحدات نمذجة نيومان الديناميكية تتشكل نتيجة للتفاعلات بين الجزيئات على سطوح الخلايا، كنتيجة لتدرجات التراكيز الكيميائية بين الخلايا، ويحدد الهيكل الدقيق لأفراد تلك الوحدات تهايؤات وخصائص

محددة لتلك الجزيئات. بهذا المعنى تكون وحدات النمذجة الديناميكية لنيومان بالطبع منظمة ذاتيًّا، لكن من الواضح أن الطرق المحددة التي تتجمع بها الخلايا معًا عادةً تعتمد على قوى تفاعلات عالية التخصص والتعقيد بين الجزيئات ومجموعات الجزيئات الموجودة على سطح هذه الخلايا. لا شك في أن العديد من الجزيئات التي تُساهم في هذه التفاعلات هي بروتينات، وهي بكل وضوح ناتجة عن المعلومات الوراثية، لكن نضيف لذلك أن التفاعل بين الخلايا يتأثر بترتيب البروتينات والجزيئات الأخرى على سطوح الخلايا –مثل السكريات في شفرة السكر، انظر الفصل الرابع عشر–، ويتأثر كذلك بترتيب البنى المصنوعة من البروتينات. لكن هذه الترتيبات الجزيئية بدورها تتحدد بمصادر جينية، أو ربما فوق جينية –وهو الاحتمال الأكبر– موجودة مسبقًا من المعلومات والبنى. هكذا، يُظهر تحليل نيومان أن ميول الترتيب الذاتي –أو القوانين البيولوجية للشكل– إلى المدى الذي وجدت فيه تعتمد على مصادر موجودة مسبقًا من المعلومات البيولوجية، ومجددًا لا يشرح نيومان مصدر هذه المعلومات.

لكن يؤكد نيومان على كيفية تأثير مصادر المعلومات فوق الجينية في التعبير الجيني ووظائف المنتجات الجينية أثناء عملية النماء الجنيني عند الحيوان. ويذكر نيومان أن المنتجات الجينية المختلفة قد تؤدي وظائف مختلفة اعتمادًا على السياق العضوي الذي توجد فيه، لكنه لا يفسر بكلمات محددة بتاتًا كيف تكتسب هذه الجينات –التي تنتمي لمجموعة الأدوات المشتركة– وظائف مختلفة بالاستجابة لعمليات التنظيم الذاتي، أو من أين تأتي المعلومات فوق الجينية التي تحدد تلك الوظائف. مع ذلك، يعتمد التعبير الجيني المعتمد على السياق بوضوح على مجموعة أخرى من مصادر المعلومات والبنى فوق الجينية الموجودة سلفًا.

تذكر على سبيل المثال المناقشة حول الجزيئات الهدف الموجودة على غشاء الخلية في الفصل الرابع عشر، حيث تمنح هذه الأهداف مصادر مهمة للمعلومات فوق الجينية من خلال التأثير على مواضع البروتينات المهمة المحدثة للتخلق. لكن لا تنتظم الجزيئات الهدف على غشاء الخلية كنتيجة لتفاعلات كيميائية بسيطة بين البروتينات التي صنعت منها –أي أن البروتينات لا تحدد موضع الأهداف الغشائية داخل الخلية–.[٣٩] بدلًا من ذلك، فإنَّ مواقع وبنى الأهداف الغشائية تنتقل من الخلية الأم إلى البنت، وهي العملية التي تنقل معلومات بنيوية فوق جينية موجودة مسبقًا في الغشاء الأم. لا يحاول نيومان تفسير أصل هذه المعلومات أو البنى باستخدام عمليات تنظيم ذاتي معروفة، وتشير الأدلة بدلًا من ذلك إلى أن الأهداف الغشائية الداخلية والخارجية ومنظومات الهياكل الخلوية وشفرة السكر والعديد من مصادر المعلومات البنيوية فوق الجينية الأخرى لا تنتظم ذاتيًّا كنتيجة للتفاعلات الفيزيائية بين وحداتها الجزيئة الفرعية.[٤٠]

مقارنة النظام والمعلومات

بالإضافة إلى ذلك يواجه منظرو التنظيم الذاتي تمييزًا من ناحية المفهوم يلقي ظلالًا من الشك على صلة نظرياتهم بالنظم البيولوجية، يسعى هؤلاء لتفسير نشوء (الترتيب) في الأنظمة الحيَّة بالرجوع للعمليات الفيزيائية أو الكيميائية البحتة –أو القوانين التي تَصِفُ تلك العمليات–، لكن ما يجب توضيحه في الأنظمة الحية ليس هو منشأ (الترتيب) إن قصدنا به الأنماط المتكررة أو الأنماط الهندسية البسيطة، بل ما يتطلب التفسير هو التعقيد التكيفي، والمعلومات الجينية وفوق الجينية الضرورية لإنشائه.

فشل دعاة التنظيم الذاتي حتى الآن في توفير أمثلة على أي من المعلومات البيولوجية أو البنى التشريحية المعقدة الناجمة عن الفيزياء والكيمياء فقط، فهم يشيرون –كما يفعل نيومان وكوفمان– إلى أنَّ النماء الجنيني يتجلى بشكل متوقع كنتيجة للمنتجات الجينية والأغشية الخلوية وغيرها من البنى الخلوية الموجودة مسبقًا والغنية بالمعلومات. أو أنهم يقدمون أمثلة على العمليات الفيزيائية والكيميائية البحتة التي تولد نوعًا من الترتيب الذي لا يملك إلا صلةً ضعيفةً بملامح الأنظمة الحية التي يحتاج معظمها للتفسير.

يُشير منظرو التنظيم الذاتي في الحالة الأخيرة إلى أشكال هندسية بسيطة أو أشكال متكررة، تنشأ أو يتم تعديلها من خلال عمليات فيزيائية أو كيميائية بحتة، ويقترحون أن هذا الترتيب يوفر نموذجًا لفهم نشأة المعلومات البيولوجية أو تخلق المخططات الجسدية.[٤١] فاستشهدوا بالبلورات والدوامات وتيارات الحمل الحراري –أو الأنماط الثابتة من الأضواء الساطعة– لتوضيح القوة المفترضة للعمليات الفيزيائية في توليد (الترتيب) مجانا. تتشكل بلورات الملح فعلًا نتيجةً لقوى التجاذب بين أيونات الصوديوم والكلوريد، ويمكن للدوامات أن تنجم عن قوى الجاذبية وغيرها من القوى العاملة عند بلوعة حوض الاستحمام، فتظهر تيارات الحمل من الهواء الدافئ –أو الصخور المنصهرة– الناشئ في الأماكن المغلقة.

تتبنى بعض الجزيئات الموجودة في المنظومات الحية هياكل غايةً في الترتيب، وأشكالًا هندسيةً يمكن التعرف عليها، ذلك نتيجة فقط للتفاعلات الفيزيائية بين الأجزاء المكونة لها. مع ذلك فإن نوع الترتيب الواضح في هذه الجزيئات أو النظم الفيزيائية لا يقارن بتاتًا مع (الترتيب) النوعي –المعلومات أو

التعقيد النوعي- الذي يميز الشفرة الرقمية الموجودة في الحمض النووي DNA وغيره من الهياكل البيولوجية الأخرى الغنية بالمعلومات ذات المستوى الأعلى.

من السهل للغاية أن نرى هذا في حالة المعلومات المشفرة في الحمض النووي DNA والحمض الريبي RNA، وربما يكون بعض ما يلي مألوفًا من مناقشتي في الفصل الثامن، لكن لا مناص من تكراره. عادةً ما تترتب الأسس في المنطقة المشفرة -في مقطع من الDNA أو نسخة من الRNA- بطريقة غير تكرارية أو دورية، وتعرض هذه المقاطع من النص الجيني ما يسميه علماء المعلومات ب(التعقيد)، وليس (الترتيب) البسيط أو التكرار. لمعرفة الفرق بين الترتيب والتعقيد لنأخذ بعين الاعتبار الفرق بين المتواليات التالية:

Na-Cl-Na-Cl-Na-Cl-Na-Cl

AZFRT<MPGRTSHKLKYR

يصف التسلسل الأول التركيب الكيميائي لبلورات الملح، ويعرض ما يسميه علماء المعلومات التكرار أو (الترتيب) البسيط، ذلك لأنه مؤلف من مكونين اثنين فقط (Na وCl) -الصوديوم والكلوريد-، مرتبان تمامًا بطريقة بسيطة تكرارية محكمة. لكن يعرض التسلسل الثاني التعقيد، ففي هذا التسلسل المتولد عشوائيًّا من الصفات ليس هنالك أي نمط متكرر بسيط، في حين أن التسلسل الأول يمكن أن يتولد من قاعدة بسيطة أو خوارزمية حاسوبية كالتالي: "في كل مرة تنشأ جزيئة الصوديوم، ترفق جزيئة كلور إليها، والعكس بالعكس". لكن لا توجد قاعدة أقصر من التسلسل نفسه قادرة على توليد التسلسل الثاني.

لا يتميز التسلسل المعلوماتي الموجود في الحمض النووي DNA والحمض الريبي RNA والبروتينات لا بالترتيب البسيط ولا بالتعقيد المحض، لكنه يتميز بدلًا من ذلك بـ(التعقيد النوعي)، في مثل هذه التسلسلات يكون الترتيب الشاذ وغير المتوقع من الصفات –أو المكونات– هو أمرٌ بالغ الأهمية للوظيفة التي ينفذها التسلسل. وتوضح التسلسلات الثلاث أدناه هذه الفروق:

Na-Cl-Na-Cl-Na-Cl-Na-Cl (التنظيم)

AZFRT<MPGRTSHKLKYR (التعقيد)

الوقت والمد لا ينتظران أحدا (التعقيدات المتخصصة)

ماذا يعني كل هذا للتنظيم الذاتي؟ ببساطة، لا تُوَّلِدُ عملياتُ التنظيم الذاتي الشبيهة بالقوانين –والتي تولد نوعًا من التنظيم كالموجود في البلورات أو الدوامات– تسلسلات أو بُنى معقدة، وهو أبعد ما يكون عن توليد التعقيد المحدد، الذي هو نمط الترتيب الموجود في الجينات أو الأعضاء المعقدة وظيفيّا.

طبقًا لتعريفها، تصف قوانين الطبيعة الظواهر المتكررة –أي الترتيب في أحد معانيه– التي يُمكنُ وصفها بالمعادلات التفاضلية بعبارات شاملة من نمط "إذا كان – فإن". لنأخذ مثلًا التعبيرات غير الرسمية لقانون الجاذبية: "جميع الأجسام غير المدعومة تسقط"، أو "إن تركنا جسمًا مرتفعًا بغير تعليق فسيسقط"؛ تمثل هذه العبارات أوصافًا دقيقة للناموس الخاص بظواهر الجاذبية الطبيعية على وجه التحديد، لأننا كررنا تجربة سقوط الأجسام غير المدعومة على الأرض. في الطبيعة يوفر التكرار مادة قيّمة لوصف القانون.

لكن لا تبدي التسلسلات الحاملة للمعلومات -جزيئات الحمض النووي DNA والحمض الريبي RNA المشفرة للبروتينات- مثل هذا (الترتيب) التكراري، وعلى هذا النحو لا يمكن وصف أو تفسير هذه التسلسلات بالرجوع إلى القانون الطبيعي أو عمليات (التنظيم الذاتي) الشبيهة بالقانون. هذا النوع من الترتيب غير التكراري الذي تعرضه تسلسلات DNA وRNA -الترتيب المتتابع الدقيق الضروري لضمان الوظيفة- ليس هو النوع الذي قد تنتجه أو تفسره -من حيث المبدأ- قوانين الطبيعة أو عمليات التنظيم الذاتي الشبيهة بالقانون.

من ناحية أخرى، لن يسمح تكرار الأسس النكليوتيدية بشكل صارم مثل ACACACACACACACAC للحمض النووي DNA بتخزين أو نقل معلومات نوعية. وهناك ميزة غريبة في كيمياء الحمض النووي DNA تسمح لأيّ من الأسس النكليوتيدية الأربعة بالارتباط بأي موقع على العمود الفقري الداخلي من جزيئة DNA، يعطي عدم التعيين الكيميائي هذا لكل من DNA وRNA إمكانية تخزين أي عدد غير محدود نظريًّا من الترتيبات المختلفة من الأسس النكليوتيدية -أي تخزين أي رسالة جينية في الواقع-، لكن عدم التعيين هذا يتحدى أيضًا بشكلٍ قاطع التفسير بنواميس قوى التجاذب الكيميائي الحتمية. ولأن قوى التجاذب لا تحدد تسلسل الأسس النكليوتيدية في DNA أو RNA، فإن نشأة الترتيب النوعي للأسس (المعلومات في DNA أو RNA) لا يمكن أن تنسب لقوى الجذب ذاتية التنظيم أيضا.

هوبيرت يوكي Hubert Yockey -المبتكر الرائد لتطبيقات نظرية المعلومات في علم الأحياء الجزيئي- هو أول من أدرك المشاكل المرتبطة بالاعتماد على التنظيم الذاتي لشرح أصل المعلومات البيولوجية، فقد فشلت هذه

النظريات وفق قوله لسببين: أولهما، أنها لا تفرّق بين الترتيب والمعلومات. وثانيهما، لأن المعلومات في جزيء الحمض النووي DNA لا تُستمد من نواميس قوى التجاذب.[٤٢] وقد فسَّرَ ذلك في عام ١٩٧٧ قائلًا: "يجب أن تعتبر محاولات ربط فكرة الترتيب... مع التنظيم أو النوعية البيولوجية بمثابة اللعب بالكلمات التي لا يُمكن أن تصمد أمام الفحص الدقيق. يمكن للجزيئات الكبيرة المعلوماتية أن تشفر الرسائل الجينية، وتحمل بالتالي المعلومات، لأن تسلسل الأسس أو الثمالات لا يتأثر إلا بالقليل –إن تأثر أصلًا– بالعوامل الفيزيائية والكيميائية (ذاتية التنظيم)".[٤٣]

يصدق الأمر نفسه على العديد من المصادر الحيوية للمعلومات فوق الجينية. على سبيل المثال، لا تحدد قوى الجذب بين البروتينات المكونة لأهداف الغشاء أو نظم الهياكل الخلوية مثلًا بنية أو موقع هذه البنى فوق الجينية والمعلومات الموضعية التي تقدمها، ولا يمكن أن يعزى أصل هذه البنى لكل قوى الجذب ذاتية التنظيم. بدلًا من ذلك يتم في كل حالة توليد البنى فوق الجينية والغنية بالمعلومات من مصادر المعلومات فوق الجينية الموجودة مسبقا.

هكذا تفسر نظريات التنظيم الذاتي جيدًا ما لا يحتاج أساسًا للتفسير في علم الأحياء، أقصد أنها تفسر وجود أشكال هندسية بسيطة أو متكررة من الترتيب. يستشهد منظرو التنظيم الذاتي حقًا بالبُنى التي قد تكون ذاتية التنظيم، إلا أن هذه الأمثلة عادةً ما تكون متواضعةً للغاية في نطاقها، تشمل أنماطًا متكررةً من الذرات في البلورات، وأشكالًا هندسيةً بسيطةً، وأنماطًا من الخطوط والمثلثات والشرائط والدوامات وتيارات الموجة اللولبية، والأشكال البسيطة التي نراها على شاشات الحواسيب.[٤٤] لا يبدي أي منها تعقيدًا نوعيًّا يميز المعلومات الرقمية في الحمض

النووي DNA والحمض الريبي RNA، أو الترتيبات المعقدة من البروتينات والخلايا والأنسجة، والأعضاء اللازمة لبناء شكل وظيفي للحيوان الحي.

سحرُ الطبيعة أم سببٌ حقيقي؟

شاركت في عام ٢٠٠٧ بلقاء خاص لعلماء الأحياء التطورية وغيرهم من العلماء الذين اشتركوا في اقتناعهم بوجود حاجة ملحة إلى نظرية جديدة للأصول البيولوجية. كان في الحضور عدة دعاة بارزين لنهج التنظيم الذاتي، قدَّم هؤلاء العلماء خلال الاجتماع تشبيهات من الفيزياء والكيمياء مثيرة للاهتمام ليُظهروا كيف نشأ الترتيب "مجانًا" –أي دون توجيه ذكي– في المضمار البيولوجي. مع ذلك، لا تبدو الترتيبات التي وصفوها في هذه التشبيهات ذات صلة مباشرة بالتعقيد –بل والتعقيد النوعي– في الجينات أو أغشية الخلايا أو المخططات الجسدية الحيوانية. تحدى علماء آخرون في المؤتمر دعاة التنظيم الذاتي أن يستشهدوا بالعمليات المعروفة التي يُمكن أن تنتج شكلًا ومعلومات ذات صلة بالناحية البيولوجية.

اعترف لي أحد دعاة التنظيم الذاتي سرًا قبل نهاية اللقاء بصحة هذه الانتقادات، حيث قال "التنظيم الذاتي هو حقًا شعار أكثر من كونه نظرية"، على الأقل في ذلك الحين. يحاول ستيوارت كوفمان أن يُثبت ضرورة تقبّل هذا العجز التفسيري، وقد احتفى مؤخرًا بمنظور التنظيم الذاتي لاعتناق فكرة (السحر الطبيعي). ففي محاضرة له في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا قال "تنبثق الحياة في سحر طبيعي يقبع وراء قيود القانون المكبّلة، ووراء الرياضيات".[٤٥] وتابع ليشرح

أن إحدى فوائد منظور التنظيم الذاتي هو أنه يتيح لنا أن "نقع مرة أخرى تحت سحر الطبيعة" و"نجد طريقًا إلى ما وراء الحداثة".[٤٦]

منذ انطلاقة العلم الحديث دافع العلماء عن مبدأ المنطق العلمي المعقول الذي يُعرف بمبدأ السبب الحقيقي vera causa، وينص هذا المبدأ على أنَّ شرح ظاهرة أو حدث معين يتطلب تحديد السبب الحقيقي الذي يُعرف من سابق الخبرة أنه يمتلك القدرة على إنتاج الحدث أو الظاهرة قيد البحث. أكَّد أوائل علماء العصر الحديث على هذا المبدأ باعتباره واحدًا من الجوانب الرئيسية للنهج العلمي نحو فهم الطبيعة. وقف هذا المبدأ معارضًا للتفكير السحري الذي كان موجودًا من قبل، والذي يعزو الناس فيه القوى لطبيعة لم يروها تُظهر هذه القوى قطّ. مع نضج الثورة العلمية، تمَّ استبعاد بعض النشاطات مثل الخيمياء، فقد رُفضت على وجه التحديد في نهاية المطاف لعجز الخيميائيين عن التعرف على السبب الذي يمكن أن يؤدي للتحول الذي كانوا يسعون لإحداثه.

فشلت نظريات التنظيم الذاتي بوضوح في توفير السبب الحقيقي لنشأة الترتيب في الأشكال ذات الصلة البيولوجية –التعقيد الوظيفي والمعلومات النوعية الموجودة في الأنظمة الحية–، وبدلًا من ذلك، فإنها تصادر على المطلوب فيما يخص النشأة الأولى للمعلومات البيولوجية أو تشير إلى العمليات الفيزيائية والكيميائية التي لا تنتج التعقيد النوعي الذي يميز الحيوانات الحقيقية.

من هذا المنظور نجد أنَّ مناقشة كوفمان الأخيرة حول (السحر الطبيعي) ودعوته إلى "الوقوع مرة أخرى تحت سحر الطبيعة"، ليست تلك المبادرة الجديدة الجَسُور التي تحاول التوفيق بين العلم والروحانيات –وهو ما كان يرمي إليه–، بل

كانت اعترافًا ضمنيًّا بأن نظريات التنظيم الذاتي قد فشلت في تحديد عمليات فيزيائية وكيميائية معروفة قادرة على توليد الشكل والمعلومات الموجودة في الأنظمة الحية الحقيقة. بالفعل، بعد سنوات من محاولة حل مشكلة أصل الشكل الحي، نجد أن تأملات كوفمان في الآونة الأخيرة عن (السحر الطبيعي) تبدو كأنها اعتراف بأن هناك سرًّا غامضًا لم يُكشف بعد.



الفصل السادس عشر

نماذج أخرى لما بعد الداروينية الحديثة

نماذج أخرى
لما بعد الداروينية الحديثة

عندما كان (ستفن جي غولد) يُكافح ليجد إجابة لسؤال: كيف ظهرت الأشكال الجديدة من الحياة الحيوانية بسرعة فائقة في السجل الأحفوري؟ أخذ باعتباره العديد من آليات التغيير الممكنة، ففي ورقة البحث الشهيرة المنشورة عام ١٩٨٠ والتي أعلن فيها أنَّ الداروينية الجديدة "ميتة فعليًّا" لم يفترض الانتواع التبايني وانتقاء الأنواع كآليات تطورية جديدة فقط، لكنه أعطى مزية إعادة النظر لفكرة مرفوضة منذ فترة طويلة، وجادل تحديدًا بأن الطفرات الكبيرة قد تولِّد تغيرات معتبرة بشكلٍ أسرع نسبيّا.[٢]

في ثلاثينيات وأربعينيات القرن العشرين راقَتْ هذه الفكرة لعالم الجينات (ريتشارد غولد شميدت) من جامعة كاليفورنيا في بيركلي، منطلقًا من وعيه لكثرة الانقطاعات في السجل الأحفوري، فقد تصور تحولات جذرية في شكل الحيوانات، وربما تظهر هذه التحولات حتى خلال جيل واحد كنتيجة لمثل هذه الطفرات الكبيرة، كما صادق شميدت مثلًا على وجهة نظر عالم الأحياء الألماني أوتو شيندوولف (١٨٩٦-١٩٧١) التي تقضي بأن "أول طائر قد تمَّت حضانته في بيضة حيوان زاحف". هكذا، كما يقول غولد شميدت "إنَّ البحث عن العديد من الروابط المغقودة في السجل الأحفوري لا طائل من ورائه، لأنها لم توجد أصلًا"[٣]، وإذا كان الطائر قد نشأ مباشرة بعدما فقست بيضة زاحف كنتيجة للطفرات الكبيرة القابلة للتوريث، فإنَّ مثل هذه الوثبة المفاجئة أو (القفزة) لن تترك بوضوح وراءها أية أشكال أحفورية وسيطة.

رفض الداروينيون الجدد هذه الفكرة لكونها غير معقولة من الناحية البيولوجية مطلقًا، وقالوا إن تغيير العديد من الأنظمة الفيزيولوجية والتشريحية المتداخلة بسرعة سيؤدي –حتمًا– إلى أشكال طافرة مشوهة، لا إلى أنظمة أو أعضاء مختلفة متداخلة تكوّن حيوانًا جديدًا كاملًا[٤]، وأكدوا أن طفرات غولد شميدت الكبيرة لن تنتج ما سماه "وحوشًا واعدة"، إنما وحوشًا بائسة، أي كائنات غير قادرة على الحياة.[٥]

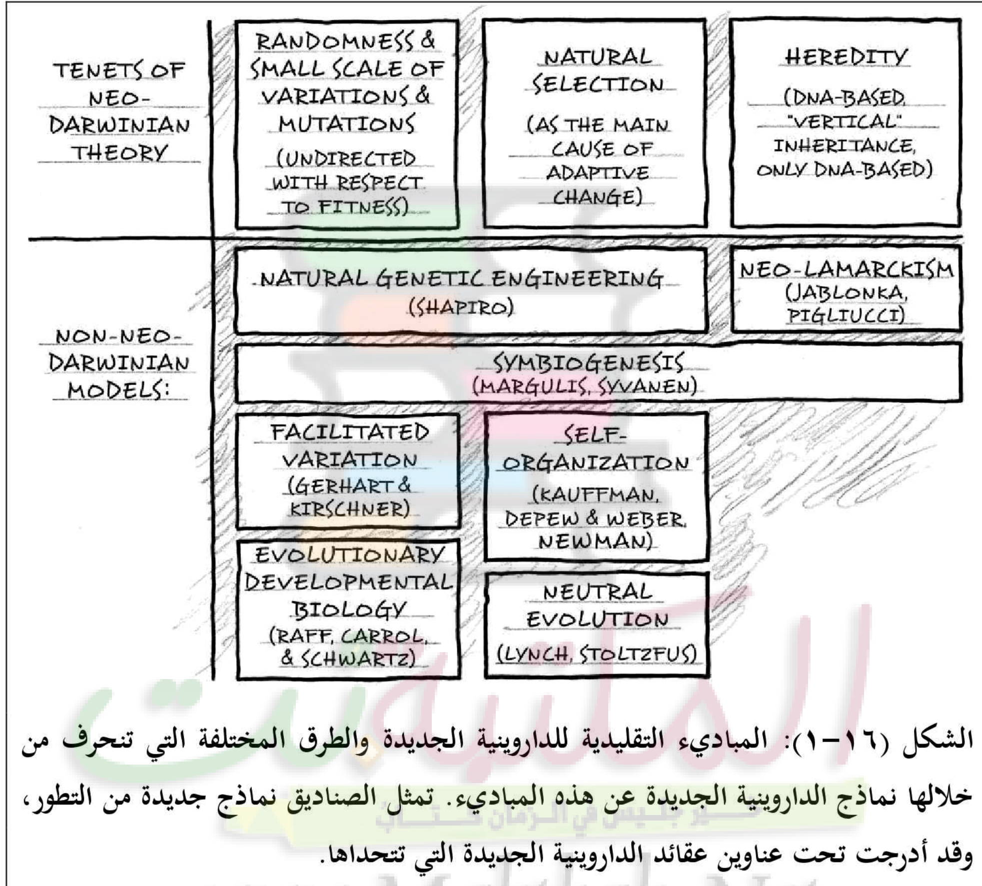
رغم أن غولد أراد إعادة النظر في دور الطفرات الكبيرة، إلا أنه فصَل فرضيته بحذر عن فكرة غولد شميدت التي تعرضت للسخرية، واقترح بدلًا من ذلك أن الطفرات التي تؤثر على جينات النماء الجنيني الحيواني قد تنتج الكثير من التغيرات المورفولوجية المتزايدة، مقارنة بالطفرات التي تؤثر على جينات أخرى، وظن أن هذه (الطفرات النمائية) ربما تولد وحدات جزئية من الأنظمة البيولوجية في وقت قصير، دون الحاجة إلى توليد أشكال جديدة من الحياة في جيل واحد. عرض غولد –كمثال– احتمالية أن تكون عظام القوس الخيشومي في السمكة عديمة الفك القديمة، وليست السمكة كلها، قد نشأت في خطوة واحدة كنتيجة لطفرة نمائية كبيرة، ووضَّح ذلك بقوله: "لا أشير هنا إلى نشوء التصاميم الجديدة الكاملة التي اكتملت كل مواصفاتها المعقدة والمتداخلة بوثبة واحدة، بل أتصور إمكانية نشوء السمات الأساسية للتكيفات الرئيسية بطريقة الوثب".[٦]

ثم استجاب غولد لاحقًا للنقد الشديد الذي وجهه له أنصار الداروينية الجديدة، فقلل من حجم الدور الذي تلعبه هذه الطفرات النمائية الكبروية في نظرية التوازن المتقطع. لكن جاء علماء حياة تطوريون آخرون ليستلهموا منه هذه الفكرة ويبنوا عليها نظريات ضخمت دور هذه الطفرات النمائية، وجعلتها القوة الموجهة

في التطور الكبروي، فوضع منظرو التطور وعلماء الحياة النمائية مثل (رودلف راف) و(شون ب. كارول) و(والاس آرثر) فرعًا من علم الأحياء بات معروفًا بالبيولوجيا التطورية النمائية أو اختصارًا (evo–devo). منذ ذلك الحين وضع علماء البيولوجيا التطورية النمائية نماذج بديلة تتحدى المظهر الرئيسي لثالوث الداروينية الجديدة، ففي الوقت الذي تتصور فيه الداروينية الجديدة نشوء الأشكال الجديدة كنتيجة لتراكم متزايد بطيء من الطفرات الصغيرة، يرى علماء البيولوجيا التطورية النمائية قدرة الطفرات المؤثرة على الجينات الداخلة في نماء الحيوان على إحداث تغير مورفولوجي واسع النطاق، بل ربما تصميمٍ جديدٍ كليٍ للجسم.

لن يناقش هذا الفصل فقط أفكار علماء البيولوجيا التطورية النمائية، بل أيضًا ثلاثةً من أكثر بدائل الداروينية الجديدة شهرة، والتي افترض بعضَها أعضاءٌ من علماء ألتنبرغ الستة عشر.(الشكل ١٦–١) يركز كل واحد من هذه البدائل على عنصر معين من (الثالوث) على حساب العنصرين الآخرين. ففي الوقت الذي تركز فيه بدائل التنظيم الذاتي التي ناقشتها في الفصل السابق على دور العمليات الشبيهة بالقوانين في الطفرات العشوائية، فإنَّ هذه النظريات الجديدة تعيد التأكيد على أهمية الطفرات، رغم أن كلًا منها يعيد بناء مفهوم كيفية عمل الطفرات. تقع إحدى المقاربات تحت عنوان (التطور النمائي، الإيفو–ديفو)، وتتصور أن الطفرات تنتج تعديلات على مستويات كبيرة. في حين ترى نظرية أخرى –وهي النظرية المحايدة من التطور– أن الطفرات تقوم بانتقاء غيابي absent selection. أما الثالثة فهي اللاماركية الجديدة –الوراثة ما فوق الجينية epigenetic inheritance–، التي تتصور تدخل التعديلات الموروثة في المعلومات ما فوق

الجينية بالمسار المستقبلي للتطور. وهناك نظرية أخرى تسمى (الهندسة الجينية الطبيعية)، التي تؤكد وجود تعديلات جينية غير عشوائية تقود التغيير التطوري.[٧]



الشكل (١٦-١): المباديء التقليدية للداروينية الجديدة والطرق المختلفة التي تنحرف من خلالها نماذج الداروينية الجديدة عن هذه المباديء. تمثل الصناديق نماذج جديدة من التطور، وقد أدرجت تحت عناوين عقائد الداروينية الجديدة التي تتحداها.

دعونا نرى ما إذا كانت إحدى هذه الطروحات تحل المشكلة المزدوجة (أصل الأشكال والمعلومات في مرحلة الانفجار الكامبري)، وهو ما قد يساعدنا في حل لغزه.[٨]

التطور النمائي (evo – devo) وأطروحاته

ركزت النظرية التركيبية الداروينية الجديدة منذ زمن طويل على أنَّ التغيرات التطورية الكبروية تظهر كناتج ثانوي حتمي لتجمُّع التغيرات التطورية الصغروية في المجتمعات، لكن بدأ الإجماع على دعم هذه الفكرة يتهاوى في البيولوجيا التطورية خلال أوائل السبعينات، عندما أدرك علماء حفريات شباب مثل غولد ونيلز إلدردج وستفن ستانلي أن سجل الأحافير لا يبدي نمطًا من التغير التدريجي "من صغروي إلى كبروي"، حتى انفجرت الثورة إلى العلن عام ١٩٨٠ في ندوة مشهورة –الآن– عن التطور الكبروي في متحف فيلد في شيكاغو، كاشفة عما أسماه عالم الحياة النمائية سكوت غيلبرت بـ"التيار الخفيّ في النظرية التطورية"، بين المنظرين الذين استنتجوا "عدم إمكانية إنتاج التطور الصغروي لتطور كبروي".[٩]

وجد الأحيائيون الذين شككوا في الإجماع حول "صغروي يؤدي إلى كبروي" حلفاء من بين علماء البيولوجيا النمائية الشباب في المؤتمر، فقد كانوا غير راضين عن الداروينية الجديدة من جهة لأنهم عرفوا الوراثة السكانية وتمثيلها الرياضي الذي يسعى فقط لتحديد التغيرات في التواتر الجيني دون أن يحاول تفسير أصل الجينات أو تصاميم الأجسام الجديدة، لهذا فقد ظنَّ الكثير من علماء البيولوجيا النمائية أن الداروينية الجديدة لم تقدم نظرية مقنعة فيما يتعلق بالتطور الكبروي.[١٠]

ولتشكيل نظرية أكثر متانة، حثَّ العديدُ من علماء البيولوجيا النمائية –مثل رودولف راف، وهو عالم بيولوجيا نمائية من جامعة إنديانا وأحد مؤسسي نموذج التطور النمائي– منظري التطور لدمج الرؤى من مناهجهم المختلفة.[١١] يَعرف علماء البيولوجيا النمائية على سبيل المثال أنَّ الطفرات الظاهرة مسبقًا في نماء الحيوانات

ضرورية لتغيير شكل ومخطط الجسد، وهكذا فإنهم يجادلون بأنَّ هذه الطفرات لابد أن تلعب دورًا مهمًا في توليد أشكال جديدة كاملة من الحيوانات عبر تاريخ الحياة، ويؤكدون على أن هذا الفهم للعملية النمائية حاسم في فهم تطور الحيوانات، كما أشار بعض مؤيدي نموذج التطور النمائي مثل شون ب. كارول وجيفري شوارتز بالتحديد إلى الجينات المتماثلة Homeotic Genes: Hox – جينات تنظيمية تتحكم بالجينات التي تؤثر في مكان وزمان وتواتر التعبير عن الجينات الأخرى– على أنها كيانات قادرة على إحداث مثل هذا التغيير واسع النطاق في أشكال الحيوانات[١٢]، بهذا ينفصل مؤيدو نموذج التطور النمائي عن الداروينية الجديدة الكلاسيكية –بشكلٍ رئيسي– في فهمهم لحجم وإضافة التغيير الناتج عن الطفرات.

إما أن يكون التغيير جوهريّا ومميتا، أو أنه يسمح بالبقاء لكنه ليس جوهريّا

رغم الحماسة المحيطة بهذا المجال إلا أن نموذج التطور النمائي يَفشل، ويعود ذلك لسبب واضح؛ هو أن فرضه الرئيسي بأن "الطفرات النمائية الأولى قد سببت تغييرات واسعة النطاق وقابلة للتوريث بشكلٍ ثابت في تصاميم أجسام الحيوانات" يتعارض مع نتائج تجارب مائة عام من توليد الطفرات.[١٣]

فكما رأينا في الفصل الثالث عشر فإن تجارب علماء أمثال نوسلاين–فولهارد و فيشوس قد أظهرت بشكل مؤكد أن الطفرات الأولى في المخططات الجسدية دائمًا تولد حيوانات ميتة جنينيًّا غير قادرة على متابعة التطور، وقد شكلت نتائج هذه التجارب معضلة أمام علماء البيولوجيا التطورية، وصَفَها بدقَّة عالم الوراثة

جون مكدونالد على أنها "التناقض الداروبني العظيم"، ونتذكر هنا إشارة مكدونالد إلى أن الطفرات في الجينات التنظيمية -التي تعمل أولًا عند الجنين- لا تعطي تغييرات قابلة للحياة في الشكل تسود في المجتمع، وهو الأمر الذي يتطلبه التطور بشكل مؤكد، لكن بدلًا من ذلك يتمُّ التخلص من هذه الطفرات بشكل فوري بواسطة الانتقاء الطبيعي، بسبب عواقبها التي دائمًا ما تكون مدمرة. على صعيد آخر يمكن أن تُنتج الطفرات العاملة لاحقًا عند الجنين تغيرات قابلة للحياة في صفات الحيوانات، لكن هذه التغيرات لا تؤثر على التكوين العام للحيوان، وهذا ما يولد معضلة (التغيرات الجوهرية مميتة والتغيرات التي تسمح بالبقاء ليست جوهرية)، ولا تنتج أنواع الطفرات التي تظهر فعليًّا في أي من الحالات تغيرات كبيرة قابلة للحياة من النوع الضروري لبناء مخططات جسدية جديدة.

اشتركتُ في عام ٢٠٠٧ مع العديد من الزملاء في كتابة كتاب عنوانه (استكشف التطور Explore Evolution)، وقد وضحنا فيه هذه المعضلة التي تضعنا أمام أحد الخيارين "إما أن يكون التغيير جوهريًا ومميتًا، أو أنه يسمح بالبقاء لكنه ليس جوهريًا"، واقترحنا أنها شكلت تحديًا أمام النظريات التي تعتمد على الطفرات وآلية الانتقاء لتوضيح أصل التغيرات الشكلية الكبيرة.[١٤] تحدى المركز الوطني لتدريس العلم (NCSE) -وهو مجموعة ناشطة واسعة النفوذ تعارض السماح للطلاب بمعرفة النقد العلمي لنظرية التطور- نقدنا، واتهموا كتابنا بأنه يفشل في توضيح البحوث المكثفة على الطفرات في تسلسلات الـDNA، التي لا تشفر بروتينات، لكنها ذات آثار مهمة على الشكل[١٥]، أي أنهم ادعوا وجود بعض الطفرات التي تسمح باستمرار الحياة، والتي يكون التغيير فيها جوهريًّا وواسع النطاق.



الشكل (١٦-٢): تغييرات ظاهرية في تلوين أجنحة الحشرات، يظَنّ أنها بسبب طفرات في عناصر التنظيم المقرون cis-regulatory. تُظهر مثل هذه الأمثلة أن الطفرات التي تؤثر على النماء وتؤدي إلى ذرية قابلة للحياة، تميل لأن تكون ثانوية. بموافقة من الأكاديمية الوطنية للعلوم، الولايات المتحدة.

استشهدت الـNCSE بورقات بحثية من منشورات (التطور النمائي) تدَّعي أن هذا النوع من الطفرة في المناطق التنظيمية من المادة الوراثية -مناطق (التنظيم المقرون) cis-regulatory- قد أُثبتت قدرتها على إنتاج تغييرات كبيرة النطاق في الحشرات المجنحة، وطبقًا للـNCSE فإن العديد من علماء البيولوجيا التطورية يعتبرون أن الطفرات في هذه العناصر التنظيمية المقرونة أو (CREs) "تمتلك أكبر

إمكانية على إنتاج تغير تطوري".[16] وأكثر من ذلك أنهم يصرون على أن "الطفرات في CREs تلعب دورًا هامًا في التطور الشكلي".[17] وقد استشهدت الـNCSE بنشرة من محاضر جلسات الأكاديمية الوطنية للعلوم لثلاثة علماء بيولوجيا نمائية، هم بنجامين برودهوم ونيكولاس غومبل وشون ب. كارول.[18]

لم تظهر هذه النشرة ما ادعته NCSE، لكنها أكَّدت على أن التغيرات في الـDNA التنظيمي تُنتج "فروقات متواضعة نسبيًّا تكون عادة بين الأنواع القريبة من بعضها بشكلٍ كبير، وفروقات تشريحية عميقة تكون بين المجموعات في المستويات التصنيفية الأعلى".[19] لكن لم تُظهر الدراسة سوى أن التغيرات في عناصر التنظيم المقرونة في DNA ذبابة الفاكهة ربما أثرت في تلوين بقع الأجنحة في العديد من الأنواع المختلفة من الحشرات الطائرة، ولم تذكر أية طفرات مهمة في شكل أو مخطط جسد هذه الحشرات، وبدلًا من ذلك ركزت الدراسة على حالة واضحة من الطفرة القابلة للحياة، والتي ولدت محض تغير ثانوي أو سطحي (الشكل ١٦-٢).

ليس مفاجئًا أن يُدرك العديدُ من علماء البيولوجيا التطورية أن مثل هذه الطفرات في المناطق التنظيمية لا توضح تطور تصاميم الأجسام الجديدة، فمثلًا نشر كل من (هوبي هوكسترا) -من جامعة هارفارد- و(جيري كوين) -وهما من الدعاة التقليديين للداروينية الجديدة- مقالًا يراجع العديد من الطروحات التطورية النمائية في مجلة التطور Evolution، وكتبا أن "الدراسات الجينية تعطي القليل من الدعم لنظرية التنظيم المقرون" في التغيير التطوري.

كما يُشكك كل منهما أيضًا بصدقٍ في أن معظم طفرات التنظيم المقرون تسبب نقصًا في الميزات الجينية والتشريحية، وهو ما حدث في الحالة التي ربط فيها علماء البيولوجيا التطورية فقدان الأشواك الحوضية عند سمك أبو شوكة بطفرات في العناصر التنظيمية المقرونة[20]، كما أنهما يقولان بأن "دعم الادّعاء التطوري النمائي حول مسؤولية طفرات في العناصر التنظيمية المقرونة عن الابتكارات الشكلية يتطلب إظهار أهمية المعزِّزات promotersفي تطور الميزات الجديدة، وليس فقط في فقدان الميزات القديمة"، ليستنتجا عدم وجود "دليل في الوقت الحاضر على أن التغيرات التنظيمية المقرونة تلعب دورًا كبيرًا –فضلًا عن أن يكون دورًا متميزًا– في التطور التكيفي".[21] إذا علمنا التزام هذين بالداروينية الجديدة، فإن من العدل أن نفترض أن هوكسترا وكوين لم ينويا من خلال هذه المناقشة أن يدحضا طرح الـNCSE في نقدهم لكتابنا(استكشف التطور)، لكنّ العلم كالسياسة يصنع في بعض الأحيان بعض التحالفات الغريبة.

ماذا عن جينات هوكس؟

عندما يَسمع طلاب البيولوجيا زميلي باول نيلسون يَصفُ المفارقة الداروينية الكبرى (انظر الفصل ١٣) في محاضراته بالجامعات، كانوا كثيرًا ما يسألون "ماذا عن جينات هوكس؟" ونتذكر هنا أن جينات هوكس –أو الجينات المتماثلة homeotic– تنظم التعبير عن الجينات المشفرة للبروتينات خلال عملية نماء الحيوانات الجنيني، وقد شبهها بعض العلماء بالمايسترو القائد للجوقة الموسيقية والذي يقوم بترتيب مشاركات العازفين. نظرًا لتأثير جينات هوكس على العديد من الجينات الأخرى، فإن العديد من أنصار التطور النمائي يظنون أن الطفرات في هذه الجينات قادرة على توليد تغيرات كبيرة النطاق في الشكل.

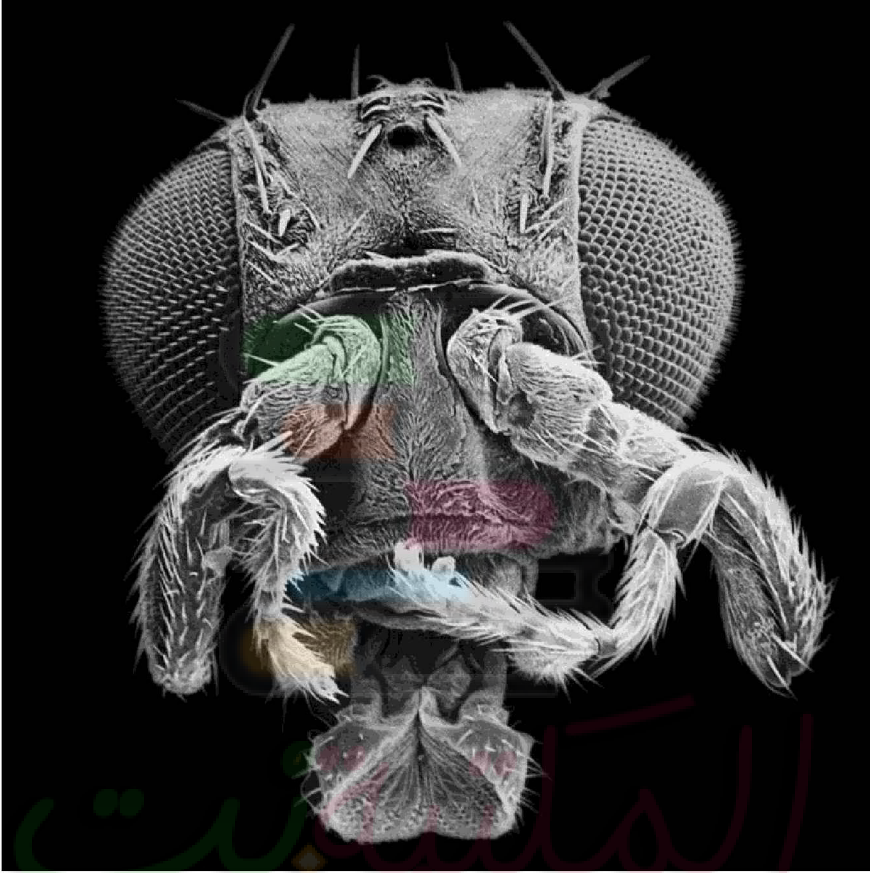
على سبيل المثال، في جامعة بيتسبرغ استدعى جفري شوارتز فكرة الطفرات في جينات هوكس لشرح الظهور المفاجئ للأشكال الحيوانية في السجل الأحفوري، وكان قد اعترف في كتابه (النشوء المفاجئ Sudden Origins) بالانقطاع في السجل الأحفوري، فكتب قائلًا: "لا نزال في ظلمة الجهل حول نشوء معظم المجموعات الرئيسية من الكائنات الحية، فهي تظهر في السجل الأحفوري كما ظهرت أثينا من رأس زيوس، مكتملة الازدهار وتواقة إلى الانطلاق، بشكلٍ يُناقض تصورات داروين حول التطور بأنه ناتج عن تراكم التباينات الدقيقة تدريجيّا".[٢٢]

ما الحل إذًا لهذا اللغز؟ يكشف لنا شوارتز –هو نصير التطور النمائي– الجواب بقوله: "يمكن لطفرة مؤثرة على جينة هوكس أن تملك تأثيرات عظيمة كتحويل اليرقانيات الغِلاَلِيَّة larval tunicates –من الحَبْلِيَّات– إلى أولى الحبليات. ومن الواضح تمامًا أن قدرة جينات هوكس على إحداث ما ندعوه التغير التطوري أمرٌ صعب الإدراك".[٢٣]

لكن هل يمكن للطفرة في جينات هوكس أن تحولَ شكلًا حيوانيًا -مخططًا جسديًا- إلى آخر؟

هناك العديد من الأسباب التي تدعونا للشكِّ في ذلك، أولها أن جينات هوكس تنظم تعبير العديد من الجينات المختلفة، وقد ثبت بالتجريب ضرر الطفرات التي تصيب جينات هوكس، فقد قام البيولوجيان ويليام مكغينيس ومايكل كوزيورا بدراسة تأثير الطفرات على جينات هوكس وراقباها لدى ذبابة الفاكهة ليصرحا بأن "معظم الطفرات التي أصابت جينات هوكس قد أفضت إلى عيوب مميتة في

الذرية".[٢٤] في حالات أخرى كان النمط الظاهري الطافر لهوكس أقل كفاءة من النمط البري الشائع بشكلٍ ملحوظ –وإن بقي حيًّا لمدة قصيرة–، فعلى سبيل المثال، أنتج البيولوجيون من خلال تطفير جين هوكس في ذبابة الفاكهة الشكل الطافر منها المسمَّى (ذوات الأقدام الاستشعارية Antennapedia)، وهي ذبابة تخرج أقدامها من رأسها في ذات موضع قرون الاستشعار[25] (الشكل ١٦–٣)، كما أدت طفرات أخرى في جينات هوكس لدى ذبابة الفاكهة إلى تحول الموازن balancers –بنية دقيقة تقبع خلف الأجنحة تثبت الحشرة أثناء طيرانها وتسمى (الرسن halter)– إلى زوج زائد من الأجنحة.[٢٦] تبدل مثل تلك الطفرات البنية لدى الحيوانات، لكن بطريقة عديمة الفائدة أو غير موروثة، فالشكل الطافر ذو الأقدام الاستشعارية لا يُمكنه البقاء في البرية، ويجد صعوبة في التكاثر، وتموت ذريته بسهولة. كذلك هو الأمر في ذبابة الفاكهة ذات الأجنحة الزائدة الطافرة، التي تفتقد الجهاز العضلي الذي يمكِّنُها من استخدام هذا الزوج، مما يفقدها التوازن والقدرة على الطيران. كما كتب البيولوجي التطوري الهنغاري إيرش ساتماري Eörs Szathmáry عبارة متحفظة في مجلة Nature يقول إن: "الطفرات الكبروية macromutations –أي في جينات هوكس– عادة ما تكون من هذا النوع غير المساعد على التكيف".[٢٧]



الشكل (١٦-٣): صورة للشكل الطافر ذي الأقدام الاستشعارية. يظهر زوج من الأقدام تخرج من الرأس في الموضع المعتاد لظهور قرون الاستشعار. وتثبت أمثلة كهذه أنَّ الطفرات التي تحدث في بدايات النماء الجنيني الحيواني، التي تنتج التغيرات الكبيرة، عادة ما تنتج ذرية أقل كفاءة، وفي هذه الحالة ذرية عقيمة. بالإذن من Elsevier, Inc.

ثانيًا، يتمُّ التعبير عن جينات هوكس في جميع الحيوانات بعد بدء التنشؤ الحيواني، وبشكل أوضح بعد أن تبدأ أقسام الجسم بالتشكل، ففي ذبابة الفاكهة، في الوقت الذي يتم التعبير فيه عن جينات هوكس يكون لدينا حوالي ٦٠٠٠ خلية قد تشكلت تقريبًا، ويكون التقسيم الأساسي -القسم الأمامي والخلفي والمحاور

الظهرية والبطنية– قد تكوّن بشكل جيد[٢٨]، لذا فإن جينات هوكس لا تحدد تشكيل المخطط الجسدي. استنتج كل من إريك ديفيدسون ودوغلاس إروين أنَّه رغم ضرورة التعبير عن جينات هوكس لحصول التمايز الموضعي أو المناطقي الصحيح ضمن مخطط الجسد، إلا أن هذا التعبير لا يحدث إلا في وقت متأخر من مرحلة التخلق المضغي embryogenesis، بعد تمايز المخطط الجسدي العام بذاته بكثير، وهذا التمايز تنظمه جينات مختلفة تمامًا، وهكذا فإنَّ معضلة النشوء الأساسي للمخططات الجسدية الحيوانية في الانفجار الكامبري لا تقتصر على نشاط جينات هوكس فحسب، لكن تقوم في الأساس على ظهور عناصر تحكمٍ أعمق، كشبكات ديفيدسون الناظمة للجينات النمائية Davidson's developmental gene regulatory networks (dGRNs)".[٢٩] مع ذلك، كما وجدنا في الفصل الثالث عشر، جادل ديفيدسون بصعوبة التعديل على dGRNs دون تضرر قدرتها على تنظيم النماء الحيواني.

ثالثًا، توفر جينات هوكس المعلومات فقط لبناء البروتينات التي تعمل كمفتاح كهربائي يُشغل جينات أخرى أو يوقفها، وتحتوي تلك الجينات التي تقوم بتنظيمها على معلومات لبناء البروتينات التي تشكل أجزاءً في بنًى أخرى وأعضاء، لكن جينات هوكس بحد ذاتها لا تمتلك معلومات عن بناء تلك الأجزاء البنيوية، أي أن الطفرة التي تصيب جينة هوكس لا تملك كل المعلومات الجينية الضرورية لتوليد تلك الأنسجة أو الأعضاء أو المخططات الجسدية.

مع هذا فقد جادل شوارتز بأنَّ علماء البيولوجيا قادرون على شرح البنى المعقدة –كالعين– بالاستناد إلى الطفرات التي تُصيب جينة هوكس وحدها، كما أصرَّ على القول بوجود "جينات متماثلة (هوكس) لتشكيل العين، وعند تشغيل إحداها –جينة Rx بالتحديد– في الموضع المناسب والوقت المناسب يحصل

الفرد على عين"[٣٠]، كما اعتقد أيضًا أن الطفرات في جينة هوكس تساعد على ترتيب الأعضاء لتشكل المخططات الجسدية.

يرى إيرش ساتماري في مراجعة لكتاب شوارتز أن استنتاج شوارتز خطأ، فقد ذكر أن جينات هوكس لا ترمز للبروتينات التي تشكل الأجزاء الجسدية، وأصرَّ بعد ذلك على أن الطفرات في جينات هوكس عاجزة بمفردها عن بناء الأجزاء الجسدية الجديدة أو المخططات الجسدية، وشرح ذلك بقوله: "تجاهل شوارتز حقيقة أن جينات هوكس ماهي إلا جينات انتقائية لا يمكنها القيام بشيء، إذا لم تكن الجينات التي تنظمها موجودة".[٣١] رغم تعبير شوارتز عن دهشته لأهمية ما قدمته لنا جينات هوكس في فهم أسس التبدلات التطورية[٣٢] إلا أن ساتماري شكك بامتلاك الطفرات في تلك الجينات تلك القدرة الخلاقة، وحين سئل عما إذا نجح شوارتز في شرح نشوء الأشكال الحياتية الجديدة من خلال الاحتكام إلى الطفرات التي تعتري جينات هوكس، أجمل ساتماري القول: "أخشى أنه لم يستطع القيام بذلك بعد كل شيء".[٣٣]

كما أن جينات هوكس لا تمتلك بالتأكيد المعلومات فوق الجينية epigenetic الضرورية لتشكيل المخطط الجسدي، بل إن كل ما تقوم به الطفرات التي تصيب جينات هوكس في أحسن الأحوال هو إحداث تغيير في جينات أخرى، فلا يمكن للطفرات في جينات هوكس أن تولد سوى معلومات جينية جديدة في DNA أما المعلومات فوق الجينية، فهي عاجزة عن توليدها تمامًا.

بدلًا من ذلك، تُحدِّد المعلومات والبنى فوق الجينية وظيفة العديد من جينات هوكس وليس العكس، ويمكن مشاهدة هذا عندما تنظم جينة هوكس واحدة

نماء خصال تشريحية مختلفة في شعب متباينة –عرفنا أن الجينة هي نفسها من خلال تناظر homology التسلسل النكليوتيدي–. فعلى سبيل المثال، يتطلب التنشؤ الطبيعي للأقدام المتمفصلة في زمرة مفصليات الأرجل وجود جينة هوكس المعروفة بـ(Distal-less)، لكن في الفقاريات تبني جينة نظيرة homologous –جينة Dlx مثلًا لدى الفئران– نوعًا مختلفًا من الأرجل، غير نظيرة لسابقتها nonhomologous، كما نجد جينة أخرى مناظرة لما لدى شائكات الجلد، تنظم تنشؤ القدم الأنبوبية والأشواك، وهي خصال تشريحية كلاسيكية، لكنها أيضًا غير مناظرة لأطراف مفصليات الأرجل ولا أطراف رباعيات الأرجل[٣٤]، لكن في كل حالة، يلعب نظيرات جين Distal-less دورًا مختلفًا يُحدده السياق العضوي organismal context ذو المستوى الأعلى، وبما أن طفرات جينات الهوكس لا تُبدِّل من سياق المستوى فوق الجيني الأعلى[٣٥] فهي عاجزة عن تفسير نشوء المعلومات والبنى الجديدة فوق الجينية والمؤسِّسة للسياق الضروري لبناء المخططات الجسدية الحيوانية الجديدة.[٣٦]

التطور المحايد أو اللاتكيفي

قدَّمَ عالم الوراثة في جامعة إنديانا مايكل لينش Michael Lynch آلية مختلفة للتغير التطوري وتفسيرًا مختلفًا لشرح تنشؤ –أو نمو– الجينوم والبنى التشريحية الجديدة أيضًا، حيث اقترح نظرية للتطور المحايد أو (اللاتكيفي)، يلعب فيها الانتقاء الطبيعي دورًا ثانويًا إلى حد كبير، وقد بنى نظريته تلك وفقًا لمشاهدات متباينة لمميزات وقوة الآليات التطورية العاملة على جمهرات مختلفة الأحجام.

لاحظ لينش أولًا وبشكل عام أنه كلما كانت جمهرة المتعضيات كبيرة كانت معدلات الطفرات أقل –في حقيقيات النوى المتكاثرة جنسيّا– وكان معدل التأشيب الجيني genetic recombination أعلى، ولاحظ أيضًا ميل جينوم المتعضيات في الجمهرات الكبيرة –كما هو الحال عند البكتيريا والمتعضيات حقيقية النوى وحيدة الخلية– إلى التضاؤل والانسيابية، أي أنها تملك القليل من التسلسلات المعترضة غير المرمزة للبروتين، أو الإنترونات (introns)، وكانت ملاحظته الأهم هي أنه في الجمهرات الكبيرة، يكون الانتقاء الطبيعي فعالًا نسبيًا في التخلص من الطفرات الضارة وتثبيت المفيدة منها، بينما لعبت عملية الجنوح الجيني genetic drift –فقد التنوعات الجينية من خلال العمليات العشوائية– دورًا أقلّ أهمية نسبيّا.

في مقابل ذلك، لاحظ لينش تميُّز الجمهرات الصغيرة –التي تتضمن تقريبًا كل المجموعات الحيوانية– بمعدلات تطفر أعلى ومعدلات تأشيب جيني أقل، كما أنها تميل لامتلاك جينومات أكبر تحوي العديد من المناطق غير المرمزة للبروتينات –إنترونات، جينات كاذبة، ترانسبوزونات وعناصر DNA تكرارية عديدة–، بالإضافة إلى النسخ الجينية المتضاعفة. وعليه، فقد جادل لينش بأن الانتقاء الطبيعي في هذه الجمهرات الصغيرة يميل للضعف، أي أنه يعجز عن إزالة الطفرات قليلة الضرر أو أن يثبت تلك المفيدة قليلًا بشكل فعال.

لخص لينش الأمر بقوله: "تجتمع ثلاثة عوامل معًا (حجم الجمهرة الصغير، معدلات التأشيب القليلة، ومعدل عالٍ من الطفرات) للتقليل من فعالية الانتقاء الطبيعي كلما زاد حجم المتعضية".[٣٧] لذا لم تخضع العناصر غير المرمزة للبروتينات للإزالة من الجينوم، بل تراكمت مؤدية لنسو جينوم المتعضيات الحية في

الجمهرات الصغيرة، على الرغم من أن هذه التسلسلات قد تكون حيادية أو ضارة، علاوة على ذلك فإن (العمليات الحيادية) كالطفرات العشوائية والتأشيب الجيني والجنوح الجيني تتفوق من حيث التأثير على الانتقاء الطبيعي في الجمهرات الصغيرة.

لكن ما علاقة هذا كله بأصل الحيوانات والانفجار الكامبري؟ يؤمن البيولوجيون التطوريون باحتمال وجود المجموعات السلفية للحيوانات الكامبرية في جمهرات صغيرة، لكن وفق زعم لينش فإن جينوم الجمهرات الصغيرة يسعى بشكل محتوم إلى النمو مع مرور الزمن كما في تراكم الأقسام غير المرمزة للبروتين في الـDNA، أضف إلى ذلك تضاعف المورثات؛ بسبب ضعف الانتقاء الطبيعي. لقد اعتقَدَ أن هذه الطفرات المحايدة تقود التطور والتعقيد الجينومي والظاهري لدى الحيوانات. باختصار، يحاول لينش تفسير تضخم حجم الجينوم ونشوء التعقيد التشريحي على أنه نتيجة لعمليات التنامي الجينية المحايدة اللاتكيفية أكثر من كونها عملية تكيفية تتضمن الانتقاء الطبيعي، الذي يعمل على الطفرات العشوائية، فصرَّح بالتالي: "تنشأ العديد من التعقيدات الفريدة في جينات حقيقيات النوى من خلال العمليات شبه الحيادية بالإضافة إلى القليل، إن وجد أساسًا، من التدخل المباشر للانتقاء الإيجابي".[٣٨]

طور لينش من ضمن أعماله نقدًا رياضيًّا قويًّا لفعالية آلية الداروينية الجديدة، وجادل بأن الانتقاء الطبيعي يلعب دورًا أصغر في صياغة الخصال التي تمتلكها الجمهرات الآخذة بالتطور، مقارنة مع ما يفترضه العديد من منظري التطور –خصوصًا في حالة الجمهرات الصغيرة نسبيًّا–. فحاجج لينش بأن العوامل البيئية العشوائية –أن يكون الكائن حي في المكان الصحيح والوقت الصحيح، أي

بالقرب من مصدر طعام وفير على سبيل المثال. أو في المكان الخاطئ والزمان الخاطئ، في منطقة أصابها الجفاف أو بالقرب من بركان ثائر على سبيل المثال- ستلعب دورًا أكثر أهمية في تحديد النجاح التكاثري من التنوعات الجينية التي يحملها، وتميزه ضمن جمهرته.

مقاربة تُخالِف البديهة

طوَّر لينش نقده الرياضي للقوة الخلاقة التي يملكها الانتقاء الطبيعي بناءً على مبادئ علم الوراثة السكانية population genetics، لكن لا يُفهم من تحليله الذي يظهر ضعف الانتقاء الطبيعي أن العملية الحيادية وحدها كافية لبناء الجينات الوظيفية الجديدة والبروتينات، كما لا يُفهم منه إمكانية الاعتماد على العمليات الحيادية وحدها في تفسير العديد من الأنظمة التشريحية المعقدة التي تحتاج مصادر معلوماتية جينية -وفوق جينية- جديدة لبنائها.

بالفعل، ربما يبدو الأمر مخالفًا للبديهة من وجهة نظر الداروينية الجديدة على الأقل، أن تعتقد أن تراكم الطفرات العشوائية وحده يكفي لتحقيق ما حاولت الداروينية الجديدة لمدة طويلة من الزمن أن تحققه باللجوء إلى كل من الطفرات والانتقاء الطبيعي، ففي النهاية تسعى نظرية لينش لشرح نشوء التعقيدات التشريحية من خلال العودة إلى ما قد يبدو ظاهريًّا بأنه آلية أقل قوة -وليست أكثر قوة- من تلك التي تقدمها الداروينية الجديدة، فهل يمكن لمثل هذه النظرية التي تخالف التفكير السليم أن تكون صحيحة؟

ربما، لكن كنظرية شاملة عن كيفية ظهور المعلومات الجينية والتعقيد التشريحي، فإن نظرية لينش تلك تترك العديد من الأمور بلا توضيح.

فهي في المقام الأول لا تقدم أي شرح لبعض الآلات الجزيئية الحاسمة الموجودة في حقيقيات النوى –وهي آلات ضرورية لتجعل آليات التراكم والتعبير التالي عن المعلومات الجينية موثوقا–. نتذكر هنا اعتقاد لينش بأنَّ الجمهرات الصغيرة من الكائنات متعددة الخلايا بشكل خاص لم تجد مفرًا من مراكمة العديد من العناصر الجينية المقحمة insertional genomic elements فيها. لكن ليتم التعبير عن المعلومات الوظيفية في هذه الجينومات المتنامية، فعلى الخلية أن تملك طريقة ما لاستئصال العناصر الجينية الملتحمة العشوائية وغير المعبرة عن البروتينات، على الأقل حتى تَطْفُرَ إحداهن إلى المستوى الذي تساهم فيه في إنتاج الجينة الوظيفية والبروتينات. تعتمد الخلايا حقيقية النوى الموجودة الآن على آلات جزيئية معقدة تُدعى آلة التضفير spliceosome، وهي آلة تعمل على استئصال الإنترونات ودمج الإكسونات ببعضها البعض –الأقسام الجينومية التي تشفر البروتينات– قبل أن يحصل التعبير الجيني، وتقول المختصة في بيولوجيا الخلية ميليسا جوريكا Melissa Jurica إن "هذا المعقد الكبير يتكون من أكثر من ١٥٠ بروتين مع العديد من جزيئات RNA البنيوية، لذا فربما يستحق بالفعل لقب الآلة الجزيئية الأكثر تعقيدًا في الخلية".[٣٩]

إذًن من أين تأتي آلات التضفير والجينات الضرورية لإنتاجها؟ لا يخبرنا لينش ذلك رغم إدراكه بالطبع لأهمية هذه الآلة الجزيئية بالنسبة لعملية التعبير الجيني وبالنسبة للسيناريو الذي وضعه، كما يشرح هو ذلك بنفسه: "تكمن المشكلة في كون الإنترونات داخل الجينات، وأنها تخضع لعملية الانتساخ إلى رنا رسول mRNA، لكن يجب أن تُقتطع بعد ذلك وتزال بشكلٍ محكم، فإن أزلت نكليوتيدًا واحدًا خطأً فستحصل على نسخة معطوبة".[٤٠] على أية حال، تفترض نظرية لينش

بشكل مسبق نشوء المعلومات الجينية الضرورية لإنتاج آلات التضفير spliceosomes التي تقوم بهذه المهمة، ولا تشرح ذلك، كما أنها بالتأكيد لم تشرح أصل تلك المعقدات الضخمة عديدة البروتين وRNA استنادًا إلى أية عملية تطورية حيادية، كما أنه لا يستطيع ذلك، لأن نظريته حول النمو الجينومي والتعبير تفترض مسبقًا وجود هذه الآلات المعقدة، كما صاغ الأمر زميلي باول نلسون بشكل واضح: "لكي تمضي نظرية Lynch حول النمو الجينومي إلى الأمام فعليها أن تستدعي من خارجها الآلات الجزيئية المعقدة والمهمة".

من الممكن أن يجادل أحدهم طبعًا بأن هذه الآلات والأنظمة تظهر بشكل مبكر جدًا مع نشوء الخلايا حقيقية النوى كنتيجة للتطور المُسيّر بالانتقاء في الجمهرات الكبيرة من المتعضيات الأبسط وحيدة الخلية، والتي يُمارس فيها الانتقاء الطبيعي طبقًا لنظرية لينش دورًا أكثر أهمية، لكن لينش لا يقدِّم تلك الحجة لسبب وجيه؛ هو أن معظم البيولوجيين اليوم يدركون أن أصل الخلايا حقيقية النواة لا يزال معضلة لم تعرف طريقها للحل بعد، فلم تُفسرها النظريات التطورية حيادية كانت أم تكيفية.[٤١]

بالتأكيد، بمجرد وجود هذه الآلات الجزيئية في الخلية حقيقية النواة –حتى وإن كانت مفردة– فلابد أنها نشأت كما هو مفترض من زمن يسبق نشوء الحيوانات بكثير. لذا فإن شرح منشئها ليس ذا صلة مباشرة تحديدًا بشرح الانفجار الكامبري. رغم ذلك، إلا أن عجز لينش عن تفسير منشئها مباشرة يؤثر سلبًا على نظريته ويشكك في موثوقيتها، على الأقل بقدر ما تسعى لتقديم شرح شامل للآليات التي نشأت عنها المعلومات البيولوجية والتعقيد خلال تاريخ الحياة.

سيادة الجينة في الجمهرة، أو حذفها بـ(الجنوح الجيني)

على أية حال، هناك أسباب وجيهة تدعونا للشك في قدرة آلية لينش الحيادية على توليد المعلومات البيولوجية الجديدة وشرح نشوء الحيوانات، بل حتى في قدرتها على ضمان الوجود المسبق للآلات الجزيئية -في جمهرات متعضيات حقيقيات النوى الصغيرة- التي يتطلبها السيناريو الخاص به.

أولًا، يفترض لينش وجهة نظر خطأ قائمة على مركزية الجين بخصوص نشوء الأشكال البيولوجية، وقد كتب يقول: "تُعزا معظم تنوعات الأشكال الظاهرية التي نلاحظها في العالم الطبيعي بشكل مباشر للبنية المميزة لجينات حقيقيات النوى".[٤٢] بهذا تتجاهل وجهة نظره الدور الأساسي الذي تلعبه البنى والمعلومات فوق الجينية في نشوء الأشكال الحيوانية، والتي ناقشناها في الفصل الرابع عشر، لهذا لم يقم بأي عمل من شأنه شرح نشأتها.

ثانيًا، لا تحابي العمليات الحيادية كالجنوح الجيني الطفرات المفيدة، لذا فإنها لا تُثبِّت بكفاءة الخصال الجينية الناتجة عن الطفرات في الجمهرات الصغيرة[٤٣]، ويُعدُّ الانتقاء الطبيعي هنا سيفًا ذا حدين، كما بيّنّا في الفصل العاشر، فهو يساعد من جهة في تثبيت الصفات المفيدة في الجمهرات، لكنه في الطرف المقابل يحول دون سهولة حدوث اختلافات واسعة للجينات الوظيفية دون أن تتعرض بحد ذاتها للإزالة. تحاول نظريات التطور الحيادية تجنب المعضلة الأخيرة من خلال إقحام تضاعف الجينات والعمليات الأخرى، التي يمكنها إضافة تسلسلات غير وظيفية إلى الجينوم، وهي تسلسلات لا تتأثر بالضغط الانتقائي في البداية على الأقل. لكن السماح بذلك يعني أن تُقلل الصيغ النظرية إلى حدٍ كبير

دور الانتقاء الطبيعي كآلية يمكنها تثبيت الطفرات المفيدة حال ظهورها، وعليه ففي كل نظريات الحياد، بما فيها نظرية لينش، يمكن لأي طفرة مفيدة أن تظهر وتسود داخل الجمهرة بالجنوح الجيني، كما يمكن أن تحذف منها وبسرعة بنفس الطريقة ودون أي تأثير مهم يمارسه الانتقاء الطبيعي لإعاقة هذا الأمر. تزيد تلك المحددات بشكل كبير من الزمن اللازم للعملية الحيادية، لكي تثبّت التغير الجيني المفيد في الجمهرة، وقد أدرك هذا العيب في نموذج لينش المشككون للداروينية الجديدة والمناصرون لها على حد سواء.[٤٤]

ثالثًا والأكثر أهمية، أضف للفشل الذي واجهته نظرية لينش في شرح تثبيت الصفات والجينات الجديدة في الجمهرات الصغيرة ذلك الفشلَ في تفسير نشوئها، حيث تتصور آلية لينش في التغير الطفري الحيادي neutral mutational change أن الإضافة العمياء للتعقيد الجينومي، ما هي إلا نتيجة لتنامي العناصر الجينية الموجودة سلفًا –الإنترونات، والترانسبوزونات، والجينات الكاذبة، والتضاعف الجيني–.

ورغم أن إضافة هذه العناصر لا يولِّد أي معلومات جينية وظيفية –أو محدَّدة– إلا أنها بالكاد تنقل التسلسلات الجينية الموجودة سلفًا من كائن حي، ربما تؤدي فيه هذه التسلسلات وظيفة ما إلى كائن آخر لا تكون فيه هذه التسلسلات ذات وظيفة في الغالب.

الحقيقة أن الغرض من النظرية الحيادية هو افتراض إضافة العناصر الجينية التي لا تؤدي ابتداءً أية وظيفة حاسمة، لذلك فهي عرضة للطفرات دون أن يكون لها أي عواقب ضارة على المتعضية، ويفترض لينش بنفسه عدم قيام هذه العناصر

المضافة بأية وظيفة في سياقها الجيني الجديد، لهذا تصوّر الحاجة لوجود آلات التضفير لتستأصلها، في بداية الأمر على الأقل.

بدلًا من ذلك، لكي تشرح نظرية لينش أصل الجينات والبروتينات الوظيفية الجديدة –والتعقيدات التشريحية التي تعتمد عليها– فإن على نظريته أن تحل معضلة (التضخم التوافقي combinatorial inflation) المذكورة في الفصل العاشر، وعليه أن يثبت قدرة الطفرات العشوائية البحتة على البحث بكفاءة في الفضاء التوافقي للتسلسلات المحتملة والمتعلقة بالجينة الوظيفية أو البروتين الجديد.

إلا أن لينش لم يشرح معضلة التضخم التوافقي أو المعضلة القريبة منها وهي (ندرة الجينات والبروتينات في فضاء التسلسلات)، كما لم يقدِّم أي دليل تجريبي على أن التأشيب والطفرات –الحاصلة أثناء الجنوح الجيني–، أو إحدى هاتين فقط، ستنتج جينات وظيفية أو تعقيدات جينية محددة. بدلًا من ذلك، فهو يقدم أمثلة نظرية بحتة، ولا يقدم لنا فوق ذلك أي سبب لنعتقد بأن احتمالية البحث الناجح عن الجينات الوظيفية أو البروتينات ستكون أعلى من الاحتمالية المحسوبة في الفصل العاشر، على ذلك فهو لا يجيب عن التحديات التي تواجه معضلة التضخم التوافقي وندرة الجينات الوظيفية والبروتينات في فضاء التسلسلات.

ربما قدَّمَ لينش بالفعل توصيفًا أكثر تفصيلًا من نظريات الحياد الأخرى التي يجب أن تسيطر فيها العمليات الحيادية اللاتكيفية، لكنه لم يثبت كفايَةَ مثلِ هذه العمليات –الطفرات الجينية العشوائية الناشئة عن الانتقاء الطبيعي– لتوليد الجينات الوظيفية والبروتينات، ناهيك عن التعقيدات التشريحية الفريدة التي تتطلب

نشوء العديد من الجينات والبروتينات. بدلًا من ذلك -وكما أثبتت نتائج أكس التجريبية- فإن الطفرات العشوائية -من أي نوع كانت- لن تولِّدَ الخصال الكافية لتنفيذ سبر ناجح -أو معقول- لفضاء التسلسلات المتعلق بالجينة الوظيفية أو البروتين الوظيفي.

لينش وأوقات الانتظار

يجادل لينش في إحدى نشراته العلمية بقدرة عملية التطور الحيادي على توليد تكيفات معقدة جديدة -تكيفات تتطلب طفرات عديدة متناسقة- ضمن أوقات انتظار زمنية واقعية، وقد نشر تلك الورقة البحثية الحديثة بالتحديد بالتعاون مع زميله آدم آبيغ Adam Abegg من جامعة سانت لويس، يُجادل فيها بقدرة "آليات علم الوراثة السكانية التقليدية" كالطفرات العشوائية والجنوح الجيني بإحداث "ظهور سريع نسبيًا للتكيفات المعقدة النوعية".[٤٥] هنا يدَّعي لينش ادِّعاءين محددين في هذا الشأن، الأول هو الزعم بإمكانية حدوث التكيفات المعقدة اعتباطيًّا في الجمهرات الكبيرة إن كانت المراحل الوسيطة الطافرة حيادية التأثير تجاه المتعضية، وأن من الممكن حصول عدد غير محدود نظريًّا من الطفرات الضرورية لحصول التكيفات المعقدة. يفترض لينش هذا في الجمهرات الميكروبية الكبيرة، ويمكن حدوث هذا وفقًا للينش بشرط امتلاك كل مورثة ضمن سلسلة من الطفرات تأثيرا محايدًا -ليس ضارًّا- على المتعضية.

الثاني، يجادل لينش بأنه رغم الحاجة عمومًا إلى وقت أطول لبناء الخصال المعقدة في الجمهرات الصغيرة، لكن بإمكان خصال كهذه أن تستمر بالتطور ضمن وقت واقعي، بشرط أن تكون الطفرات الوسيطة حيادية في تأثيرها مجددًا، والحقيقة

أن لينش يستنتج أن "القدرة المتنامية لكل من الجنوح الجيني العشوائي والطفرات العشوائية ربما تسمح باكتساب التكيفات المعقدة في الأنواع عديدة الخلايا ضمن معدلات لا تختلف كثيرًا عن تلك التي يمكن تحقيقها ضمن الجمهرات الميكروبية الضخمة".[٤٦]

رغم إصرار لينش على هذه المقولات ضمن سياق مقالة علمية رياضية صعبة، إلا أننا لا نستطيع المبالغة في الاستفادة من مزاعمه تلك، هذا إن كانت صحيحة، إذ أنه في جوهر الأمر يزعم بأن نموذجه المستقى من علم الوراثة السكانية –ذا الأساس الرياضي– يثبت أن الطفرات العشوائية والجنوح الجيني قادران على توليد التكيفات المعقدة جدًا ضمن زمن معقول، وأن نظرية الحياد التطورية الخاصة به تحل من معضلة التكيفات المعقدة وأوقات الانتظار الطويلة، التي ناقشناها في الفصل الثاني عشر.

لكن هناك ما يدعو للريبة في كل هذا، فقد اتضح أن لينش وآبيغ ارتكبا خطأ رياضيًّا خفيًّا وجوهريًّا للوصول إلى استنتاجاتهم تلك، وربما كان دوغلاس أكس هو أول شخص يوضح بشكل ملائم أن مزاعم لينش المبهرة مريبة، ورغم نظرة أكس لصحة كثير من الرياضيات المستخدمة في ورقة لينش وآبيغ البحثية لكن أكس راوده الشك انطلاقًا من حساباته وتجاربه، فرأى أنهما ارتكبا خطأً قاتلًا، وعمل على تعقب مزاعمهما إلى أن وصل إلى المعادلتين المغلوطتين اللتين يكمن بهما الخطأ، لأنهما مبنيتان على افتراض خطأ.

منذ البداية افترض كل من لينش وآبيغ اكتساب المتعضيات لتكيفات معقدة من خلال اجتياز سبيل مباشر نحو البنى التشريحية الجديدة، وستبني كل طفرة على

التي سبقتها وفق أكثر الوجوه المحتملة كفاءةً دون أي إخفاق أو أي انطلاقة خطأ أو ضياع عن الهدف أو تيه أو حتى تحلل جيني genetic degradation إلى أن يتمَّ تأسيس البنية أو النظام أو (الجينة).

عليه فقد قاما بصياغة نموذج تغير تطوري غير موجه، يعتمد على افتراض عدم وجود أية آلية متاحة –كالانتقاء الطبيعي– بإمكانها تثبيت التغيرات الطفروية المحتملة التي توفِّر أفضلية، وذلك أثناء تشكيلها للبنى المعقدة المفيدة. بالرغم من ذلك فقد قاما بحساب زمن الانتظار اللازم لإنتاج بُنى كهذه كما لو كان هنالك عملية لتثبيت التغيرات المفيدة والحفاظ عليها، وكما لو كانت آليتهم غير الموجهة والعشوائية المحضة توجَّه بطريقة ما نحو النتائج الملائمة وظيفيّا. كتب أكس في انتقاده الرياضي القاطع لحجة كل من (لينش) و(آبيغ) أن: "من بين كل السبل التطورية الممكنة التي يُمكن للجمهرة سلوكها، يراعي تحليل لينش وآبيغ فقط تلك السبل الخاصة التي تقود مباشرة إلى النهاية المرغوبة، وهو التكيف المعقد".[٤٧]

مع ذلك لا يوجد في نموذج لينش الحيادي ما يضمن أن الطفرات المحتملة المفيدة ستبقى في مكانها بينما تتراكم الطفرات الأخرى، كما شرح أكس بالقول "لا يمكن تخزين التغيرات المفيدة في البنك، لكن المعادلة الثانية –إحدى المعادلات التي طرحها لينش– تفترض بشكلٍ مسبق قدرتها على ذلك".[٤٨] بدلًا من ذلك أثبت أكس رياضيًّا أن التحلل –تثبيت التغيرات الطفرية التي تجعل من التكيف المعقد ذا احتمال أقل– سيحدث بسرعة أكبر بكثير من الطفرات البناءة، مما يزيد من وقت الانتظار المتوقع بشكل أسي.

ربما يساعد التوضيح الذي ذكرته في الفصل العاشر عند شرح المعضلة التي تواجه النماذج الحيادية لتطور الجينات في تسليط الضوء على الافتراضات الخطأ الكامنة في حسابات كل من لينش و آبيغ، ونتذكر من ذلك الفصل القصة المخترعة عن الرجل معصوب العينين والقابع في منتصف بركة ضخمة خالية من أسماك القرش أو أي من المفترسات –وهي التي تمثل التأثيرات الاصطفائية للانتقاء الطبيعي–، لكنه لا يزال يواجه مشكلة العثور على سلم عند حافة هذا المسطح المائي الضخم، وهو ما يمثل الحاجة إلى سبر احتمالات السبل التي لا حصر لها من الطفرات والتسلسلات المحتملة للعثور على تلك الجينات الوظيفية النادرة. ثم نفترض الآن أن أحدهم قد أتم حساب متوسط طول المدة الزمنية اللازمة للرجل معصوب العينين لكي يسبح باتجاه السلم الموجود على حافة البركة الكبيرة، فإن قام أحدهم ببساطة بتقسيم المسافة إلى السلم على السرعة القصوى التي يمكن للرجل أن يسبحها فسيحصل على تقدير متفائل جدًا لحجم المشكلة التي تواجه سباحنا تعيس الحظ، لكن لماذا؟ لأن حساب وقت الانتظار وفق هذا النمط سيغض الطرف عن المشكلة الأساسية التي يواجهها هذا الرجل، وهي أن الرجل لا يعرف بشكل أساسي أين هو هذا السلم أو كيف يصل إليه، أضف إلى ذلك أنه لا يملك أيضًا أية وسيلة للتخمين في عملية تقدمه.

لذا، يجب على أي تقدير منطقي لطول المدة التي سيستغرقها في السباحة إلى السلم –وليس التقدير النظري لأسرع طريق يمكن الوصول إليه– أن يأخذ بالحسبان التجوال عديم الهدف، والانطلاقات المتكررة، والسباحة في دوائر، والجنوح إلى وجهات مختلفة. وبشكل مشابه تمامًا فشل كل من لينش و آبيغ في الاتكال على الحسابات التي أجرياها على الآليات المقترحة العشوائية غير الموجهة

التي يفترضانها، إذ أنهما افترضا بدلًا من ذلك خطأً أن العمليات الحيادية للتطور ستسلك مسارًا مختصرًا لبعض التكيفات المعقدة، لكن الحقيقة هي أن تلك العمليات ستتجول أيضًا بشكل عشوائي عديم الهدف في كل الاحتمالات في فضاء التسلسلات الاحتمالية الحيادية اللاوظيفية الواسع، ودون ما يرشدها أو يحفظ لها أي تقدم قد تحرزه في السبيل إلى الجزر الوظيفية النادرة والمعزولة، التي تمثل التكيفات المعقدة. لهذا السبب يقلل لينش إلى حد كبير من وقت الانتظار اللازم لتوليد التكيفات المعقدة، من ثم فهو لا يحل معضلة نشوء الجينات والبروتينات أو أيٍ من التكيفات المعقدة، بل نجد أن أكس وعبر نموذجه الرياضي الذي رافق نقده للينش قد أثبت أن معضلة زمن الانتظار صعبة، بالضبط كما حسبها أكس أول مرة.

الوراثة اللاماركية الجديدة NEO-LAMARCKIAN فوق الجينية

يُعنى العنصر الثالث من ثالوث الداروينية الجديدة بانتقال وتوريث المعلومات الجينية. ومن غير المفاجئ أن نجد نموذجًا جديدًا من نظرية التطور يشكك في فهم الداروينية الجديدة للوراثة أيضًا.

لم يجد داروين نفسه نظرية دقيقة تفسر انتقال الخصال بين الكائنات الحية من جيل لآخر، فاعتقد بانتقال التغيرات الحاصلة أثناء حياة الكائن الحي إلى الذرية كنتيجة لمبدأ (الاستخدام والإهمال) للأعضاء المختلفة والأنظمة التشريحية من خلال التكاثر.[٤٩] في هذا الصدد، شابهت نظريته للوراثة نظرية جان بابتيست لامارك -1744 إلى 1829، أحد البيولوجيين التطوريين الأوائل- الذي اعتقد أيضًا بتوريث الصفات المكتسبة.

افتقرت الآلية اللاماركية أيضًا للأدلة الداعمة في ذلك الوقت، لكنها لعبت دورًا متنامي الأهمية في طريقة تفكير داروين، إذ أودى الانتقاد المتزايد للانتقاء الطبيعي بداروين إلى أن يُضيف المزيد من الأهمية إلى التأثير المباشر للبيئة على التغيرات التطورية. وبالفعل أكَّد داروين عند إصداره للنسخة السادسة من كتابه (أصل الأنواع) -١٨٧٢- على أهمية هذه النماذج في الوراثة.[٥٠]

لكن مع اكتشاف قوانين ماندل في عام ١٩٠٠ وتحديد الصبغيات على أنها الكينونات المادية المسؤولة عن انتقال الوراثة، فقدت النظريات اللاماركية الأفضلية التي امتلكتها. وبعد ظهور النظرية التركيبية الداروينية الجديدة جادل معظم علماء البيولوجيا التطورية بحقيقة كون الجينات هي موضع كل التغيرات الموروثة في المتعضية. بعد عام ١٩٥٣ عرّف البيولوجيون الجينة بتسلسل من الأسس النكليوتيدية المرتبة بشكل خاص ضمن جزيئة DNA، مع ذلك أدرك البيولوجيون حديثًا وجود بعض المعلومات البيولوجية (المعلومات فوق الجينية) خارج بنية DNA، وتنامى الاهتمام باحتمال تأثير تلك المصادر المعلوماتية غير الجينية على مسار التطور. جذب اكتشاف قابلية المعلومات فوق الجينية للتَغيُّر والتوريث المباشر والمستقل عن DNA الكثير من الاهتمام اللاحق، وقاد هذا الاكتشاف بدوره إلى صياغة نظرية (اللاماركية الجديدة neo-Lamarckian) المعاصرة[٥١]، التي تصورت أن التغيرات في البنية فوق الجينية للمتعضية تؤثر على الأجيال اللاحقة.

نجد من أشهر المدافعين في يومنا هذا عن اللاماركية إيفا جابلونكا Eva Jablonka من جامعة تل أبيب، وماسّيمو بيليوتشيMassimo Pigliucci من جامعة مدينة نيويورك. لم يكن لامارك يعلم شيئًا بالطبع حول الدور المهم الذي

تملكه الجينات، وقد آمن بأن توريث الخصال المكتسبة كان قوة قائدة مهمة في التطور، لكن اللاماركيين الجدد يعرفون حقيقة الوراثة الجينية حق المعرفة، إلا أنهم يعتقدون بأن المصدر اللاجيني للمعلومات والبُنى ربما يلعب دورًا في تطور الشكل البيولوجي، ووفقًا لجابلونكا فإن اللاماركية الجديدة "تفتح الباب أمام الإمكانيات التطورية التي حُرمت منها بسبب نمط نظرية التطور المسمى بـ(التركيب التطوري الحديث)، الذي ينص على أن التنوعات ذات صفة عشوائية، وأنها جينية (ذات أساس نكليوتيدي)، وأن الأحداث القفزية لا تساهم على نحو مهم في التغيرات التطورية.[٥٢]

قامت جابلونكا بجمع الكثير من صنوف الأدلة لدعم ما تسميه (نظام الوراثة فوق الجينية):

• ففي المقام الأول يمكن توريث التغيرات المحرضة بيئيًا في السبل الاستقلابية لبعض الكائنات وحيدة الخلية -كالخمائر وجرثومة E. coli- إلى الجيل التالي بشكل مستقل عن أي تغيرات تصيب الـDNA الخلوي.

• ثانيًا، لاحظت بالفعل مرور المعلومات البنيوية التي تعطي شكل الكائن الحي ووظائفه من الآباء إلى الذرية بشكل مستقل عن DNA عبر الأغشية والأنماط الخلوية الأخرى ثلاثية الأبعاد.

• ثالثًا، ناقشت جابلونكا عملية متيلة DNA -وهي عملية يضيف فيها أنزيم خاص المجموعات الميثيلية CH3 إلى الأساس النكليوتيدي ضمن الحلزون المضاعف، ويمكن لعملية كهذه أن تغير من التنظيم الجيني وبنية الكروماتين-، وقد ذكرت جابلونكا أن التغييرات المدخلة من خلال العمليات المعدلة للتنظيم الجيني غالبًا ما تنتقل إلى الأجيال التالية من الخلية دون أي تغيير في تسلسل أسس DNA.

• أخيرًا، استشهدت جابلونكا بعملية تُدعى الوراثة فوق الجينية –بوساطة RNA– وهي ظاهرة مكتشفة حديثًا، هنا تعمل جزيئات RNA الصغيرة مجددًا في تناغم مع أنزيمات خاصة، لتؤثر على التعبير الجيني والبنية الكروماتينية، ويبدو أن تلك التعديلات تورَّث بشكل مستقل عن الجينات.

فهل يمكن لأي من تلك الآليات أن تساعد في شرح أصل الأشكال الحيوانية في الانفجار الكامبري؟ على ما يبدو: لا.

يتطلب التطور الكبروي في جوهره تغيرات ثابتة –أي موروثة دائمًا، لكن ما تظهره أدلة جابلونكا أنه أينما حصلت الوراثة اللاجينية في الحيوانات فستشمل بُنى إما أنها:

○ غير متغيرة، كأنماط الغشاء والقوالب المستدامة من المعلومات البنيوية.
○ لا تستمر عبر العديد من الأجيال.

ولا يتولد في أي من الحالتين إبداع تطوري مهم في الأشكال الحيوانية، بل بدلًا من ذلك يجب لكي يحصل التغير التطوري باتجاه معين في جمهرات المتعضيات ألا تكون تلك التغيرات قابلة للتوريث وحسب، بل ودائمة، فالاستقرار –أي وراثة الخصال بشكل ثابت وغير معكوس– ضرورة حتمية لا مفر منها لأية نظرية تطورية. هذا بالضبط هو ما يعنيه (النشوء والارتقاء).

إن أدلة جابلونكا حول ثبات الوراثة اللاجينية هنا غامضة على أفضل تقدير، على حسب اعترافها المباشر، ولا تكشف مراجعة البيانات التي جمعتها جابلونكا من الحيوانات عن أي حالة تكون فيها التغيرات فوق الجينية ثابتة دومًا في أي جمهرة، فالانتقال الوراثي لتلك التغيرات عابر ويستمر فقط –بالاعتماد على النوع

الذي نحقق فيه– من بضعة أجيال وحتى أربعين جيلًا. بصراحة تذكر جابلونكا هذا النقص في الأدلة حول الاستقرار قائلة: "نؤمن بإمكانية توريث الاختلافات فوق الجينية في كل موقع من جينومات حقيقيات النوى، لكننا لم نحدد بعد السبيل إلى ذلك، ولأي مدة وتحت أي ظروف".[٥٣] بالتالي، بغض النظر عن النواحي الشاذة، تبقى الأهمية التطورية للوراثة فوق الجينية اللاماركية الجديدة موضع شك، أو وفقًا لكلمات جابلونكا "تخيلية بشكل لا مفر منه إلى حد ما".[٥٤]

الهندسة الجينية الطبيعية

صاغ جيمس شابيرو (عالم الجينات من جامعة شيكاغو) منظورًا آخر ما بعد دارويني حول كيفية عمل التطور، وسماه "الهندسة الجينية الطبيعية"، حيث طوَّر فهمًا للتطور يأخذ في الاعتبار التعقيد المتكامل للمتعضيات بالإضافة إلى أهمية الطفرات العشوائية والتباينات في العملية التطورية.

لاحظ شابيرو أن المتعضيات عادة ما تعدل نفسها ضمن الجمهرة كاستجابة للتحديات البيئية المختلفة، واستشهد بدليل يظهر عدم العشوائية في توليد الطفرات أو التغييرات الجينية عند متعضيات الجمهرات أثناء الضغوط البيئية أو الإشارات أو المثيرات، ويظهر أنها ليست بلا مراعاة أو انقياد لحاجاتها البقائية، وأنها غالبًا ما تستجيب للضغط البيئي أو الإشارات من خلال تحفيز الجينات بشكل موجه أو منظم، حيث شرح قائلًا: "يجب أن يفاجئنا الإلحاح المستمر على الطبيعة العشوائية للتغييرات الجينية من قبل التطوريين لسبب واحد على الأقل، هو اكتشاف الدراسات التجريبية التي أُجريت على العمليات الطفرية، بما لا يدع مجالًا للشك أنماطًا وتأثيرات بيئية ونشاطات بيولوجية محددة في أساسات البنى الجينية المحدثة وتسلسلات DNA التي تبدلت".[٥٥]

كان عمق التحدي المقدم من قبل شابيرو للعقيدة الداروينية الجديدة كبيرًا جدًا؛ لأنه رفض عشوائية التنوعات الجديدة التي أصرَّ داروين بنفسه عليها ودَرَج عليها المنظرون الداروينيون الجدد خلال القرن العشرين.[٥٦] فقد رجح بدلًا من ذلك أن تكون العملية التطورية مبنية على القدرة التكيفية المبرمجة سلفًا أو على التغيرات "المُهَندسة"، حيث تستجيب المتعضيات بطريقة "واعية" للتبدلات البيئية معيدة ترتيب معلوماتها الجينية أو مؤدية لتطفرها عبر سبل منظَّمة للحفاظ على قابليتها للحياة.

لنأخذ مثالًا على ذلك، يقول شابيرو بامتلاك كل المتعضيات أنظمة خلوية معقدة لتصحيح وترميم DNA خلال التضاعف –وهو ما يناقض الافتراضات الداروينية الجديدة القائلة بأن "تبدلات DNA ناتجة عن الصدفة"[٥٧]، ويشبِّه هذه الأنظمة بقوله أنها "مكافئة لأنظمة مراقبة الجودة في الصناعات البشرية، حيث تمثل وظائف الإشراف والتصحيح عمليات واعية، وليست مجرد عمليات منضبطة ميكانيكيًّا".[٥٨]

كمثال على الطفرات المنظمة لاحظ شابيرو تفعيل البكتيريا لنظام يُدعى (الاستجابة SOS) استجابة للأذى البيئي –مثل الناتج عن الأشعة فوق البنفسجية الشمسية أو عن الصادات الحيوية–. يستفيد هذا النظام من أنزيم بوليميراز DNA خاص أكثر عرضة للأخطاء، وهو يُترك عادة دون تعبير، لكنه هنا يُصنع ويبدأ بالعمل سامحًا للجمهرات بتوليد مجال أوسع من التنوعات الجينية مقارنة بما يحدث عادة. تنظم الخلايا البكتيرية هذه العملية باستخدام بروتين مرتبط بـDNA مثل (LexA) الذي يكبح عادة إنزيمات البوليميراز المعرضة للأخطاء. عندما يُفعّل الضرر البيئي نظام SOS ينخفض في البداية إنتاج LexA بشكلٍ مهم، سامحًا

بالتعبير عن إنزيمات البوليميراز المعرضة للأخطاء. لكنه يرتفع بعد ذلك، الأمر الذي "يضمن إصلاح DNA في أسرع وقت... سيتراكم LexA من جديد ويكبح جينات SOS".[٥٩] يسمح هذا النظام للخلايا بـ"مضاعفة DNA الحامل للأضرار التي لم يتم إصلاحها"[٦٠]، سامحًا لآليات تضاعفها الأساسية بتجاوز العقبات، ولولا تلك العملية لماتت البكتيريا.

ربما يساعد التشبيه التالي في توضيح ما تقوم به الخلية عندما تواجه التحديات البيئية: تخيل وحدة عسكرية مؤللة –مشاة ومدرعات– تعبر واديًا مكشوفًا، وتعرضت الكتيبة فجأة لوابل شديد من نيران مدفعية العدو جارحة العديد من الجنود، للإبقاء على أولئك الجرحى أحياء إلى أن يتوقف وابل القذائف أو وصول التعزيزات يأمر القائد أعضاءَ محددين في الوحدة من ذوي القدرة التدميرية بتفكيك –أو الانفكاك عن السرب باللغة العسكرية– بعض الدبابات لتوفر حماية مدرعة تقي من أية قذائف تالية، وتقضي الأوامر بأن يعودوا بالمدرعات لوضعها الأصلي بمجرد أن ينتهي القصف، بذلك تكون الوحدة ككل قد تحملت الضرر عبر معداتها لإنقاذ ما يمكن إنقاذه من الأعضاء.

بنفس الطريقة نجد أن أمرًا مخالفًا للبديهة ظاهريًا مثل "التعرض للأخطاء" يجعل إنزيمات بوليميراز DNA المولدة للطفرات والتابعة لنظام SOS تشكل كيانًا صلبًا ضروريًّا في خزانة التسليح الدفاعي للخلية[٦١]، ومن وجهة نظر شابيرو فإن هذه الاستراتيجية البقائية لا تمثل العشوائية الداروينية، بل تمثل برمجة مسبقة معقدة "لجهاز تمتلكه حتى أصغر الخلايا" للحفاظ على حياتها.[٦٢] الأكثر من هذا، هو أن التعبير المنظم بدقَّة لاستجابة SOS يعدُّ دليلًا على توظيف الخلايا للأنظمة عند الحاجة فقط.[٦٣]

أضف لازدياد معدلات التطفر في أماكن محددة من الجينوم إمكانية أن تغير الخلايا من الطريقة التي تعبر فيها عن المعلومات الجينية التي تحملها، فتعبر عن بعض الجينات التي لم يعبر عنها من قبل وتثبط أخرى. ربما تقوم المتعضيات في الجمهرات بالبحث تحت ضغط معين للوصول إلى وحدات معيارية من المعلومات الجينية، التي تكون مخزنة في أماكن مختلفة من الجينوم أو حتى على الصبغيات المختلفة، فتجمّع الخلية حينها أو تستخدم تلك الوحدات مشكلة جينة جديدة أو نسخة RNA قادرة على توجيه اصطناع بروتين واحد أو بروتينات جديدة يمكنها مساعدة المتعضية على النجاة.

جادل شابيرو هنا بوجوب أن تخضع هذه الاستجابات والتغيرات الجينية الموجهة وغير العشوائية نتيجة المحرضات لـ(ضبط خوارزمي)، فوصف الخلية بأنها "نظام حوسبة فائق مبتكر آنيًا"[٦٤] لتنفيذ الأوامر الفرعية من نوعية "إذا كان – حينئذٍ"، وهذا يتحدى بشكل كبير أحد العناصر الثلاثة في ثالوث الداروينية الجديدة، هو الزعم بحدوث الطفرات والتنوعات بطريقة عشوائية محضة.

نشر شابيرو خلال السنوات الخمس عشرة الأخيرة سلسلة من الأوراق البحثية المذهلة حول القدرات الخلوية المكتشفة حديثًا على توجيه أو "هندسة" التغيرات الجينية، التي تحتاجها لكي تبقى على قيد الحياة ضمن نطاق واسع من الظروف البيئية. وقد مثل عمله هذا أفقًا واعدًا في البحوث البيولوجية الحديثة، موفرًا نظرة فاحصة في كيفية تعديل نظام معالجة المعلومات الخلوي وتوجيه التعبير عن المعلومات الجينية في الاستجابة المباشرة للإشارات المختلفة، كما قدَّمَ عمل شابيرو نظرة جديدة لكيفية حصول التغيرات التطورية الملحوظة في الجمهرات الحية.

هل يمكن لهذا العمل أن يوفر لنا حلولًا لمعضلة نشوء المعلومات الضرورية لبناء مخطط جسدي حيواني؟ بإمكانها ذلك، لولا سؤال واحد لا يجيب عليه شابيرو كما يجيب عن بقية الأسئلة، هو كيفية تعديل المتعضيات لنفسها بنفسها، إذ من أين لها أن تأتي بالبرمجة التي تفسِّرُ "القدرة التكيفية المبرمجة سلفًا" عند الكائن الحي؟ إن كان الأمر كما يقول –أي إن كان الانتقاء الطبيعي والطفرات العشوائية بشكلٍ خاص لا تنتج هذه البرمجة المسبقة الغنية بالمعلومات– فمن الذي ينتجها؟ سأطرح في الفصل التالي جوابًا لهذا السؤال.

الفصل السابع عشر

احتمالية التصميم الذكي

احتمالية التصميم الذكي

قُتل مالك منزلٍ في جزيرة نائية بينما كان يتنزه على فرسه، وعندما وصل ضابط الشرطة المحلي علم بوجود عدد من المشتبه بهم بشكلٍ واضح، وهم (حارس منطقة الصيد ذو المزاج المتقلب، ومالك المنزل المجاور الذي كان له تاريخ طويل من العداء مع الضحية، ومطلقة صاحب المنزل التي كانت تعيش على الجزيرة في فيلا صغيرة لوالدة زوجها). تعرف الضابط على الحقائق الأساسية للقضية بسرعة، فقد عُثر على الضحية ميتة على الشاطئ مقلوبة الوجه إلى الأسفل، ويقف بجانبها الحصان. يُمكن لأي واحد من هؤلاء الثلاثة أن يسرق بندقية من الكوخ غير المقفل القابع في أطراف أرضه، فكلهم قادر جسديًّا بما فيه الكفاية ليمشي تلك المسافة الطويلة إلى مكان الجريمة، والكل يَمتلكُ دافع القتل، وما لأحد من حجةِ غيابٍ تبرؤه.

لكن كلما توسع التحقيق ظهرت حقائق جديدة للعيان، والأهم من ذلك أن المحقق عندما وصل أكَّد أنه بالرغم من كون الضحية قد أصيب بطلق ناري في بطنه، من ثم ضُرب رأسه -بشدة- بعقب البندقية، إلا أن هذه الإصابات أسهمت فقط في إخفاء الجرح الناتج عن الرصاصة التي قتلته بالفعل، إذ كان الرجل ميتًا بالفعل عندما وقع على الأرض، وما قتله كان إصابة دقيقة اخترقت رأسه من الخلف بجوار أذنه اليمنى، بالضبط في المكان الذي يضرب عنده القاتل المحترف، وفوق ذلك فقد ثبت بفحص هذه الرصاصة أنها أتت من سلاح مختلف عن ذلك المخزن في الكوخ، إنه سلاح ناري استخدم من مسافة بعيدة.

عاد الضابط مجددًا إلى قائمة المشتبه بهم، واستبعدهم واحدًا تلو الآخر، حيث ثبت بالدليل الدامغ أنَّ لا أحد من المشتبه بهم الرئيسيين يملك القدرة الكافية في الرماية ليكون راميًا محترفا، فزوجته المطلقة تعاني من رجفة في يدها ولا تملك خبرة في الأسلحة النارية، وحارس منطقة الصيد ذو المزاج المتقلب ضعيف البصر للغاية، وتبين في النهاية أن الجار الحقود يملك حجة غياب، كما أنَّ ذراعه مكسورة بما يمنعه من حمل السلاح الناري الذي أطلقت منه الرصاصة. على أية حال لايزال في الجزيرة شخص آخر، لكنه مستبعد إلى درجة أن المشتبه بهم نفسهم لم يشتبهوا به، وهو كبير الخدم والمساعد الشخصي للضحية والوفي لمدة طويلة، وهو رجل مسن جبان رعديد محبوب من كل من العائلة وباقي الخدم، ولا يرغب أحد في أن يشك فيه أو أن يصنفه كمتهم محتمل، لكن هل من الممكن أن يكون له علاقة بالجريمة؟ هل يمكن أن يكون هذا الشخص غير المتوقع هو من قام بالجريمة؟

من الواضح أنَّ النظرية التطورية المعيارية قد وصلت إلى طريق مسدود، إذ لا الداروينية الجديدة ولا الأطروحات الحديثة –التوازن المتقطع، التنظيم الذاتي، البيولوجيا النمائية التطورية، الانتقاء المحايد، الوراثة فوق الجينية، الهندسة الجينية الطبيعية– نجحت في شرح نشوء الأشكال الحيوانية الجديدة، التي ظهرت في الحقبة الكامبرية، مع ذلك اشتركت كل هذه النظريات التطورية بأمرين: اعتمادها على العمليات المادية البحتة، وفشلها في تحديد سبب قادر على توليد المعلومات الضرورية لإنتاج الأشكال الحية الجديدة.

هنا يُطرح السؤال التالي: هل من الممكن إيجاد سبب مختلف وغير متوقع يوفِّرُ شرحًا أوفى لنشوء الأشكال والمعلومات الجديدة –بالإضافة إلى الخصال

الأخرى المميزة– الظاهرة في الانفجار الكامبري؟ تحديدًا، هل من الممكن أن يلعب التصميم الذكي –الفعل الهادف لكائن واعٍ وعاقل– دورًا في الانفجار الكامبري؟

تقديم التصميم الذكي

كيفما طَرحتَ مسألةَ التصميم الذّكي، ستجد في الغالب صعوبةً كبيرة في إقناع بيولوجيٍّ تطوري معاصر ليرى أيّ داعٍ لتدارس فكرة كهذه، أو لتجعله يقبل النقاش بأن التصميم يلعب دورًا في البيولوجيا على الإطلاق. مع أنّ العديد من علماء البيولوجيا اليوم يعلمون النقائص الحادة في نظريات التطور المادية، لكنهم يقاومون قبول بدائل تتضمن إرشادًا ذكيًّا أو توجيهًا أو تصميما.

يبدو أنَّ الكثير من هذه المقاومة تأتي ببساطة من عدم فهم حقيقة نظرية التصميم الذكي، فالعديد من خبراء البيولوجيا التطورية هؤلاء يرون أنّ التصميم الذكي فكرة ذات أساس ديني، أي أنها ضربٌ من الخلقيّة التوراتيّة، وآخرون يعتقدون إنكار هذه النظرية لكل أشكال التغيّر التطوري. لكن على النقيض من التقارير الإعلامية، فإنَّ التصميم الذكي ليس فكرة توراتية، إنه نظرية مبنية على الدليل حول بدايات الحياة، وتتحدى بعض –وليس كل– معاني مصطلح (التطور).

ربما تكون الطريقة المثلى لشرح نظرية التصميم الذكي هي مقابلتها مع جانب محدد من نظرية التطور الداروينية، وهو ذلك الجانب الذي تتحداه بشكلٍ مباشر. تذكر من نقاشنا الافتتاحي في الفصل الأول أن المصطلح (تطور) له عدة معان، وأن نظرية داروين في التطور عبر الانتقاء الطبيعي حددت العديد منها: أولها التغير مع الزمن، وثانيها السلف المشترك العام، وثالثها القوة الإبداعية للانتقاء الطبيعي في

العمل على التغيرات العشوائية. وبالتأكيد على ثالث معنى للتطور تؤكد كل من الداروينية التقليدية –والداروينية الجديدة المعاصرة أيضًا– على ما سماه الدارويني الجديد ريتشارد دوكنز بفرضية "الساعاتي الأعمى"، وتنص هذه الفرضية بين طياتها على أن قدرة آلية الانتقاء الطبيعي أثناء عمله على التغيرات الجينية العشوائية –والطفرات– لا تقتصر على إنتاج شكل وبنية بيولوجية جديدة، بل ينتج عنها ظهور التصميم في الكائنات الحية أيضًا.[١]

جادل داروين عن هذه الفكرة في كتابه (أصل الأنواع)، وفي رسائله كذلك. نتذكر هنا مثال "تربية الخراف" في الفصل الأول والذي وصفتُ فيه كيف يستطيع الرعاة الأذكياء من البشر مع وسائل التغير البيئية –سلسلة من الشتاءات القارسة– أن ينتجوا ميزة تكيفية في مجموعة من الخراف. اعتبر علماء البيولوجيا أثناء القرن التاسع عشر تكيف الكائنات مع بيئتهم أنه أحد أكثر أجزاء الدليل قوة على التصميم في العالم الحي، وبمراقبة الانتقاء الطبيعي وقدرته على إنتاج تكيفات كهذه أكَّدَ داروين أنَّ هذه الآلية قادرة على إنتاج تغير بيولوجي هام، وأكَّد أيضًا أنها تستطيع تفسير ظهور التصميم دون الحاجة لإقحام ذكاء مُصَمِّمٍ حقيقي. بفعله هذا كان داروين يسعى لتفنيد نظرية التصميم من خلال توفير تفسير مادي لنشوء التصميم الظاهري في الكائنات الحية. يؤكد الداروينيون الجدد المعاصرون أيضًا أن الكائنات تبدو وكأنها مُصَمّمة، ويؤكدون أيضًا كفاية الآلية الطبيعية غير الذكية –الطفرات والانتقاء الطبيعي– كتفسير لهذه الظاهرة. لذا، تعمل آلية (الانتقاء/التنوع) –أو الانتقاء/الطفرات– عند كل من الداروينية التقليدية والداروينية الجديدة كبديل عن المصمم، يشرح ذلك البيولوجي التطوري الراحل إرنست ماير من جامعة هارفارد فيقول: "إن لبّ الداروينية الحقيقي هو نظرية الانتقاء الطبيعي، هذه النظرية

مهمة جدًا للتطوريين؛ لأنها تسمح بتفسير التكيّف –أو التصميم عند اللاهوتي الطبيعي– بوسائل طبيعية".[٢] أو كما يقولها بالمختصر المفيد بيولوجي تطوري بارز آخر (فرانسيسكو أيالا) أن الانتقاء الطبيعي يفسِّرُ "التصميم دون الحاجة لمصمم".[٣]

كما أكَّد بيولوجيون آخرون من أتباع الداروينية الجديدة، كأمثال ريتشارد دوكنز وفرانسيس كريك وريتشارد ليونتن أن الكائنات الحية تبدو كما لو أنها قد صممت لا محالة.[٤] يدرك هؤلاء تمامًا أن العديد من البنى البيولوجية ك(النوتر البحار المجوف nautilus chambered) –حيوان من شعبة الرخويات–، والعين المركبة لثلاثيات الفصوص، والنظام الكهربائي في قلب حيوان ثدي، والعديد من الآلات الجزيئية البيولوجية) تلغت انتباهنا، ذلك لأن التنظيم الدقيق لهذه الأنظمة ما هو إلا تذكرة بالأشياء التي نقوم بتصميمها، فذكر دوكنز مثلًا أن المعلومات الرقمية في الDNA تتشابه بشكلٍ مبهر مع برنامج حاسوبي أو شيفرة آلة.[٥] ويريد القول بأن العديد من جوانب الأنظمة الحية "تعطي انطباعًا بأنها صممت لهدف".[٦]

على الرغم من ذلك، يعتبر الداروينيون الجدد أن مظهر التصميم ليس إلا وهمًا مطلقًا –وهي نظرة داروين أيضًا–، لأنهم يظنون أن عمليات مادية غير عاقلة ك(الانتقاء الطبيعي والطفرات العشوائية) قادرة على إنتاج البنى الحيوية المعقدة، التي تبدو وكأنها مصممة. من زاوية النظر هذه، يحاكي الانتقاء الطبيعي والطفرات العشوائية قوى الذكاء المصمِّم، وذلك دون أي توجيه أو إرشاد ذكي بأية طريقة.

هنا يأتي دور نظرية التصميم الذكي التي تتحدى فكرة قدرة الانتقاء الطبيعي والطفرات العشوائية –والعمليات المادية الأخرى غير الموجهة– على تفسير مظاهر

التصميم المدهشة في الكائنات الحية، لكنها بدلًا من ذلك تؤكد على وجود سمات للأنظمة الحية تفسَّر بالشكل الأمثل بالتصميم: تصميم كائن ذكي –فاعل واعٍ ومنطقي–، تصميم عاقل، وليس نتاج عمليات مادية غير عاقلة. لا ترفض نظرية التصميم الذكي (التطور) حينما يعرَّف على أنه "تغير يحدث مع الزمن"، ولا ترفض حتى السلف المشترك العام، لكنها تنكر فكرة داروين بأن مسببات التغيرات البيولوجية الكبيرة وظهور التصميم عملية عمياء تمامًا وغير موجهة.

لا تسعى النظرية أيضًا إلى حشر مفهوم ديني غريب في البيولوجيا، فالتصميم الذكي يَطرحُ سؤالًا علميًّا جوهريًّا لطالما كان جزءًا من البيولوجيا التطورية: هل التصميم وهم أم حقيقة؟ بالفعل كان جزء مما عمل داروين على تفسيره بدقَّة هو مظهر التصميم، ومع فشل النظريات التطورية المادية الحالية في تفسير العديد من مظاهر التصميم المذهلة في الحيوانات الكامبرية، بما فيها وجود معلومات رقمية وتكيفات معقدة أخرى، برز احتمال ألا تكون مظاهر التصميم هذه مجرد مظاهر في النهاية. إن الصيغة الداروينية للنظرية التطورية في معارضة فرضية التصميم[٧]، مع عجز الداروينية الجديدة والنظريات المادية الأخرى عن تفسير مظاهر التصميم الجلية، يعني منطقيًّا استئناف إمكانية أن يكون التصميم فعليًّا كنقيض للتصميم الظاهري في تاريخ الحياة الحيوانية.

إما أن تكون الحياة قد ظهرت نتيجة لعمليات مادية غير موجهة بالكامل، أو أن ذكاءً مرشدًا –مصمِّم– قد لعب دورًا ما. يفضل أنصار التصميم الذكي الخيار الأخير، فيجادلون بأنَّ الأنظمة الحية تظهر وكأنها مصممة؛ لأنها مصممة بالفعل، ويجادلون بأن الأنظمة الحية تُظهر أمارات دالة على وجود نشاط ذكي سابق وتكفي

لتبرير هذا الزعم، وهي أمارات تجعل التصميم الذكي قابلًا للكشف علميًّا بالدليل الموجود في عالم الأحياء.

لكنْ هذا هو الإشكال عينه بالنسبة للعديد من البيولوجيين التطوريين، لأنهم يفكرون في التصميم الذكي على أنه فكرة دينية في أساسها، وقد يفهمون أن الناس يريدون أن يثبتوا التصميم الذكي للحياة لأنه جزء من معتقداتهم، وليس كتبعة للدليل العلمي. لا يرى معظم البيولوجيين التطوريين بالفعل كيف يمكن لفكرة التصميم الذكي أن تساهم في تفسير علمي لبدايات الحياة، ولا يرون أيضًا كيف يمكن اكتشاف التصميم الذكي أو استنتاجه علميا من دليل في الطبيعة، فكيف يمكن للباحثين إثبات أهلية استنتاج كهذا بالضبط؟

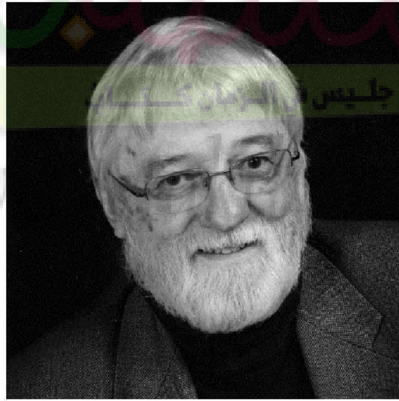
قصتي

عندما غادرت إلى إنجلترا عام ١٩٨٦ لأكمل دراساتي العليا، كنت أسأل أسئلة مشابهة، مع أني لم أكن أفكر في ذلك الوقت بشرعية فرضية التصميم الذكي علميًّا كتفسير لنشوء الحيوانات، لكن أردت أن أعرف إن كان باستطاعة التصميم الذكي المساعدة في تفسير أصل الحياة نفسها، وقادتني أسئلتي في النهاية إلى تعلم منهجية مميزة للبحث العلمي التاريخي أوصلتني إلى طريقة في الاستدلال تسمح بكشف أو استنتاج الأسباب الماضية، بما فيها الأسباب الذكية.

ففي عام ١٩٨٥، وقبل أن أسافر بعام، قابلت أحد أول العلماء المعاصرين إحياء لفكرة إمكانية لعب التصميم الذكي دورًا سببيًّا في بدايات الحياة، وكان ذلك هو الكيميائي تشارلز ثاكستون Charles Thaxton (الشكل ١٧-١) الذي نشر كتابه مؤخرًا (لغز نشوء الحياة)، وقد كتبه بالاشتراك مع عالم البوليمرات والمهندس

والتر برادلي Walter Bradley وعالم الكيمياء الجيولوجية روجر أولسن Roger Olsen، وحاز كتابهم على الاستحسان كنقد رائد لنظريات التطور الكيميائي، فأظهروا فشل نظريات تفسير نشوء الخلية الحية الأولى من خلية غير حية أبسط، وأن فشل تلك النظريات بشكل خاص كان في تفسير نشوء المعلومات اللازمة لإنتاج الحياة الأولى.

كما اقترح العلماء الثلاثة بديلًا (ثوريًّا) في خاتمة الكتاب، هو أن قدرة الـDNA على حمل المعلومات قد تشير إلى نشاط ذكاء مُصَمِّم –عمل عقل ما– أو (مسبّب ذكي) على حد تعبيرهم.[٨] بالبناء على تحليل عالم الكيمياء الفيزيائية البريطاني ذي الأصل الهنغاري مايكل بولاني Michael Polanyi جادلوا بأن الكيمياء والفيزياء وحدهما عاجزتين عن إنتاج معلومات في الـDNA، كعجز الحبر والورق وحدهما عن إنتاج معلومات في كتاب، وجادلوا بأن تجاربنا المتسقة تقترح علينا علاقة سببية بين النشاط الذكي وإنتاج المعلومات.[٩]



الشكل (١٧–١): تشارلز ثاكستون. بالإذن منه.

في وقت ظهور الكتاب، كنت أعمل كفيزيائي جيولوجي في شركة نفط في دالاس، حيث كان يسكن ثاكستون بالصدفة. قابلته في مؤتمر علمي وأصبحت مفتونًا بعمله. على مدار السنة التالية بدأت بالمرور بمكتبه لمناقشة كتابه وفكرته الثورية التي كان يطورها عن الDNA.

كان الشق الأول من حجة ثاكستون منطقيًّا بالنسبة لي، فالتجربة تؤكد حقًّا نشوء المعلومة –النوعية أو الوظيفية– إجمالًا من نشاط عوامل ذكية من عقول وليس من عمليات المادية ليس لها تفكير. حين تظهر (تغريدة) من تحديثات تويتر على هاتفك المحمول –إن كنت ممن يتابعون شيئًا كهذا– فلابد وأنها نشأت بوضوح في عقل شخص ما بداية، أنشأ حسابًا على تويتر، وكتب نص التغريدة، ثم أرسلها من خلال شبكة الانترنت. فالمعلومات تنشأ في العقول.

إلا أن ثاكستون ذهب أبعد من ذلك، فأقرَّ بأن معظم فروع العلم لا تعتبر النشاط الذكي تفسيرًا؛ لأن الكائنات الذكية وفق رأيه لا تنتج عادةً ظواهر تكرارية قابلة للتنبؤ، ولأن من الصعب دراستها وفق الشروط المخبرية المضبوطة. على الرغم من ذلك، فقد جادل ثاكستون بأنه كان بمقدور العلماء اقتراح السبب الذكي كتفسير علمي إيجابي لبعض الأحداث في الماضي، كجزء من طراز خاص للاستقصاء العلمي سماه علم البدايات (علم الأصول origins science)، وكتب أن علومًا كعلوم الآثار والبيولوجيا التطورية والكونيات والأحافير عادة ما تستنتج وقوع أحداث فردية غير قابلة للإعادة، وأن الطرق التي استخدمت للوصول إلى استنتاجات كهذه يمكنها أن تساعد العلماء في تحديد المؤشرات الإيجابية على وجود أسباب ذكية في الماضي كذلك.

لم أكن متأكدًا كثيرًا من هذا في البداية، فقد بدت فكرة ثاكستون معقولة وبديهية حول وجود طريقة مميزة للعلم المعني بالبدايات، أو بالماضي على الأقل بشكل عام. في النهاية، يستعمل خبراء البيولوجيا التطورية وعلماء الآثار طريقة في الاستقصاء مختلفة عن تلك التي يستخدمها الكيميائيون في المختبر. لكن رغم ذلك فإنني لم أكن أعرف كيف يمكن أن تختلف تلك الطرق عن الطرق المستخدمة في العلوم الأخرى، وهل استخدام تلك الطرق بأي شكل يؤهل التصميم الذكي ليعتبر فرضية علمية.

حين غادرت (دالاس-تكساس) في السنة التالية إلى كمبردج في بريطانيا لأكمل دراستي العليا في تاريخ وفلسفة العلم، كان لدي الكثير من التساؤلات في عقلي: هل هناك طريقة مميزة لإجراء البحث التاريخي العلمي؟ إذا كان الأمر كذلك، فهل طريقة الاستدلال والبحث تبرر إعادة صياغة فرضية التصميم؟ بالتحديد، هل الرابطة البديهية بين المعلومات ونشاط مصمم ذكي قبلها تبرر الاستنتاج (التاريخي) العلمي الإيجابي لوجود التصميم الذكي؟ وهل تجعل التصميم الذكي قابلًا للاكتشاف؟

المنهجية التاريخية العلمية ونظرية التصميم

اكتشفت خلال بحثي قيام علماء التاريخ بالاستدلال بصيغة منطقية متميزة، ويُعرَف تقنيًا هذا النوع من الاستدلال بالاستدلال التراجعي abductive inference.[١٠] في القرن التاسع عشر وصف المنطقي الأميركي بيرسي C. S. Peirce هذه الصيغة من الاستنتاج وميزها عن صيغتين أكثر شيوعًا، هما (الاستدلال الاستقرائي inductive والاستدلال الاستنباطي deductive)، وكتب

أننا في الاستدلال الاستقرائي نستنتج القواعد العامة من حقائق معينة، بينما في الاستدلال الاستنباطي نطبق القواعد العامة على حقائق معينة في سبيل استنباط نتائج محددة. أما في الاستدلال التراجعي، فإننا نحصل على استنتاجات حول أحداث –أو أسباب– في الماضي بناءً على دلائل أو حقائق في الحاضر.[١١] لرؤية الفرق بين هذه الأنواع الثلاثة من الاستدلال، أنظر الحجج التالية:

- حجة استقرائية:

$أ_{١}$ هي ب
$أ_{٢}$ هي ب
$أ_{٤}$ هي ب
$أ_{ن}$ هي ب
إذن: كل أ هي ب

- حجة استنباطية:

الافتراض الأساسي: إذا حصلت أ، فستحصل ب منطقيًا.
الافتراض الثانوي: أ حصلت
النتيجة: كذلك ستحصل ب

- حجة تراجعية:

الافتراض الأساسي: إذا حصلت أ، نتوقع منطقيًا حصول ب.
الافتراض الثانوي: تم ملاحظة الحقيقة المفاجئة ب.
النتيجة: إذن، هناك سبب للظن بوقوع أ.

لاحظ الفرق بين صيغتي الاستنتاج في النمط الاستنباطي والتراجعي. في النمط الاستنباطي، يؤكد الفرض الثانوي حصول المتغير الشرطي السابق (أ) antecedent variable، بينما تدل النتيجة على المتغير اللاحق اللازم (ب)، فهي نتيجة متوقعة. ووفقًا لهذا المنطق، فالاستدلال الاستنباطي يتوقع أمرًا سيحدث في المستقبل، والمثال الكلاسيكي عليه يأتي بصيغة مثل:

الافتراض الأساسي: كل الرجال فانون.
الافتراض الثانوي: سقراط رجل.
النتيجة: لذلك، سقراط فانٍ –أي سوف يموت–.

في الحجة التراجعية، يثبت الافتراض الثانوي وقوع المتغير اللاحق (ب) وتشير نتيجته إلى وقوع المتغير الشرطي السابق (أ) –وهو المتغير الذي يرمز إلى شيء حدث مسبقًا، إما منطقيًّا أو زمانيّا–. إذن، عادة ما يثبت الاستدلال التراجعي حدثًا ماضيا. لذلك عادة ما يستخدم علماء التحريات أو المؤرخون العلميون –كالجيولوجيين وعلماء الآثار والبيولوجيين التطوريين– الاستدلال التراجعي ليستدلوا على شروط أو أسباب ماضية انطلاقًا من مؤشرات حاضرة. وقد ذكر ستفن جي غولد أن المؤرخين العلميين إجمالًا "يستدلون على التاريخ من نتائجه".[١٢]

مثلًا، قد يفكر الجيولوجي بالمنطق التالي:

الافتراض الأساسي: لو حصل انزلاق طيني، نتوقع أن نجد أشجارًا مطروحة أرضًا.
الافتراض الثانوي: وجدنا أشجارًا مطروحة أرضًا.
النتيجة: حصل انزلاق طيني.

في الصيغة الاستنباطية، إذا كانت المقدمات صحيحة، فإن النتيجة تتبعها في الصحة يقينًا، لكن منطق الحجج التراجعية مختلف. أما الحجج التراجعية فلا تنتج اليقين، بل تُنتج المعقولية أو الاحتمالية، ولمعرفة السبب وراء ذلك انظر التعديل التالي على الحجة التراجعية السابقة:

الافتراض الأساسي: إذا حصل انزلاق طيني، سنتوقع وجود أشجار مطروحة على الأرض.
الافتراض الثانوي: وجدنا أشجارًا مطروحة أرضًا.
النتيجة: إذن حصل انزلاق طيني.

أو بالرموز:

الافتراض الأساسي: إذا حدثت أ، نتوقع ب.
الافتراض الثانوي: لوحظت ب.
النتيجة: إذن حدثت أ.

لاحظ أنَّه بخلاف الصيغة الأولى من الحجة التراجعية، التي أقررنا فيها بالنتيجة مؤقتًا، "لدينا سبب للاعتقاد باحتمال حدوث انزلاق طيني"، أتت النتيجة في هذه الصيغة الرمزية مؤكدة بشكل قاطع "قد حصل انزلاق طيني". من الواضح وجود مشكلة في صيغة الحجة الأخيرة، إذ أنَّه لا يشترط حدوث انزلاق طيني بالضرورة حتى تسقط الأشجار أرضًا. فقد تكون هذه الأشجار قد طرحت أرضًا لسبب آخر، ربما بإعصار هائج، أو ربما حدثت عاصفة ثلجية وسقطت الأشجار تحت وزن الجليد المتراكم، أو قطعهم الحطابون ببساطة. إن إثبات المتغير التابع الناتج في الافتراض الثانوي يقينًا يشكل مغالطة منهجية في المنطق، وهي مغالطة

ناتجة عن الفشل في الاعتراف بأن هناك أكثر من سبب –أو أن هناك أكثر من عنصر شرطي سابق– قد يُنتج ذات الدليل أو الناتج اللاحق.

مع ذلك، فإنَّ وجود الأخشاب المطروحة أرضًا قد يشير إلى انزلاق طيني محتمل، لذلك فإنَّ علينا تعديل الحجة أعلاه إلى النتيجة التالية: "لدينا سبب للتفكير في احتمال حدوث انزلاق طيني"، هكذا نتلافى الوقوع في المغالطة. حتى لو لم نستطع إثبات الناتج اللاحق يقينًا، يمكننا إثبات احتمالية حدوثه، وهذا بالضبط ما يفعله الاستدلال التراجعي. إنه يقدم لنا سببًا لنأخذ صحة فرضية ما بعين الاعتبار، وفي معظم الأحيان تكون الفرضية حول الماضي، حتى لو لم يكن باستطاعتنا إثبات هذه الفرضية –أو النتيجة– يقينًا.[١٣]

طريقة الفرضيات المتعددة المتنافسة

للتعريف بهذا القصور في الاستدلال التراجعي وجعل تقوية الاستنباط حول الماضي أمرًا ممكنًا، طور عالم الجيولوجيا توماس شامبرلاين Thomas Chamberlain في القرن التاسع عشر نوعًا من الاستدلال سمَّاه (طريقة النظريات المتعددة المتنافسة).[١٤] يستخدم علماء التحريات والتاريخ العلمي هذه الطريقة عند وجود أكثر من سبب أو فرضية يمكنها تفسير ذات الدليل، إذ يستعملونها للحكم بين الفرضيات المتنافسة من خلال المقارنة بينها لمعرفة أي منها يفسر أوسع زمرة من الحقائق المرتبطة بشكلٍ أفضل، وليس دليلًا واحدًا فحسب.

على سبيل المثال، تدبَّر هذه الطريقة في الاستدلال، التي استخدمت لترسيخ فرضية (الانجراف القاري)، كأفضل شرح يفسر طيفًا واسعًا من المشاهدات الجيولوجية. أعجب الجيولوجي وعالم الأرصاد الألماني، ألفرد واغنر Alfred

Wegener في بداية القرن التاسع عشر بالطريقة التي تتراكب فها حدود القارتين الإفريقية والأمريكية الجنوبية مع بعضهما البعض كقطع الأحجية –لعبة الصور المقطعة–.[١٥] فافترض أن القارات كانت موصولة ببعضها يومًا ما كقارة واحدة عملاقة سماها (بانجيا)، وانقسمت فيما بعد.

تهكم كثير من الجيولوجيين بداية على فكرة واغنر، وظنوا –بالنظر إلى المسافة الكبيرة الفاصلة بين القارتين– أن الأشكال المتطابقة ليست سوى مصادفة، فرفضوا نظريته في انجراف القارات، واعتبروها "هلوسات محمومة" أو "علمًا ألمانيا زائفًا" أو "قصة خيالية".[١٦] لكن واغنر أورد دليلًا آخر ظن أن الانجراف القاري يفسره، في حين لا تستطيع نظرية الصدفة تفسيره، حيث لاحظ أن الأشكال الأحفورية المكتشفة على الساحل الشرقي لأمريكا الجنوبية تتطابق مع تلك المكتشفة على الساحل الغربي لإفريقيا في أماكن وطبقات رسوبية متوافقة. بدت هذه الحقيقة متوافقة جدًا ولا يمكن تفسيرها بالصدفة وحدها. لكن حاول جيولوجيون آخرون أن يفسروا الأشكال الأحفورية المتطابقة التي يَفصِلُ بينها محيط على أنها نتيجة لهجرة الحياة النباتية والحيوانية عبر المحيطات أو عبر جسور برية قديمة، بدلًا من كونها نتيجة حركة القارات.[١٧] فكانت هذه فرضية ثالثة مختلطة تستطيع مع فرضية المصادفة أن تفسِّرَ كل الحقائق التي تستطيع نظرية واغنر تفسيرها.

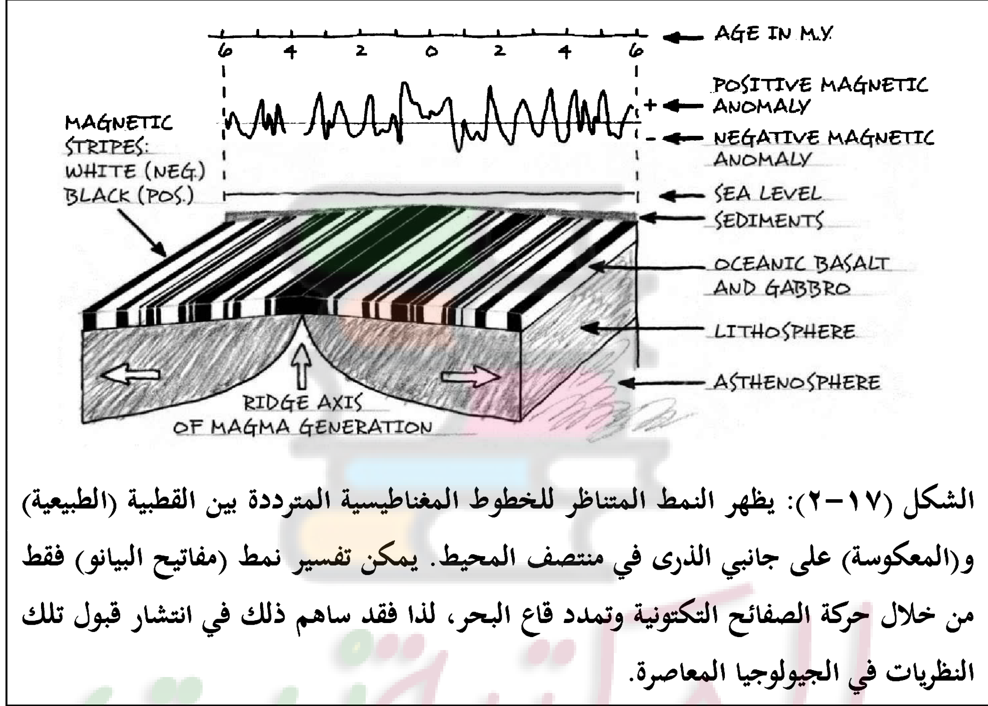
لاحقًا، وعلى أية حال، ظهرت مجموعة حقائق إضافية إلى النور ساعدت العلماء ليحكموا بين النظريات المتنافسة، فأثناء الحرب العالمية الثانية استقصت البحرية الأمريكية طبوغرافية أرض البحر، وقاست حقل الأرض المغناطيسي عبر المحيطات، فأظهرت هذه الاستقصاءات المغناطيسية خطوطًا متوازية من الصخر

الممغنط، ولكل منها القطبية نفسها على جانبي القمم الجبلية، ومتجهة إلى الأسفل نحو منتصف أرض المحيط على مسافات متساوية من ذرى المرتفعات[١] وسط المحيط.[١٨] اكتشفت سفن البحرية أيضًا اكتساب الصهارة البركانية –الماجما– حينما تبرد لبصمة مغناطيسية خاصة تعكس قطبية حقل الأرض المغناطيسي في ذلك الموقع زمن برودها، وعندما قاست مقاييس المغناطيسية الحساسة المركبة في تلك السفن هذه "البقايا المغناطيسية" اكتشف العلماء تناوب مغناطيسية قاع البحر بين القطبية الطبيعية والمعكوسة، فتأرجح المقياس المغناطيسي عند الابتعاد عن ذروة منتصف المحيط في كلا الاتجاهين. قاد هذا إلى اكتشاف نمط (مفاتيح البيانو) المتناظر الشهير على جانبي الذرى في وسط المحيط.(الشكل 17–2)

لتفسير هذا النمط من المغناطيسية المتناوبة، اقترح الجيولوجيون تشكل الأشرطة المغناطيسية كنتيجة لتمدد قاع البحر بعيدًا عن ذرى منتصف قاع المحيط، بينما تسربت الصهارة وتبردت بوجود حقل الأرض المغناطيسي المتغير. بكلمات أخرى، كانت القارات تتحرك متباعدة منقسمة بكل ما تحمله الكلمة من معنى. لم تفسر هذه الفرضية النمط المتماثل للخطوط المغناطيسية وحسب، إنما فسرت أيضًا دلائل أخرى ذات صلة، وعلى الرغم من قدرة الفرضيات الأخرى على تفسير النمط المتوافق لحدود القارات و/أو النمط المتماثل للأحافير عبر المحيطات، إلا أن فرضية الانجراف القاري (المدفوع بتمدد قاع البحر) هي الوحيدة التي استطاعت تفسير وجود الخطوط المغناطيسية في قاع البحر والأجزاء الأخرى المماثلة من الدليل. وبناء على قوتها التفسيرية المتفوقة، أخذت فرضية الانجراف

(١) في منتصف قاع المحيط مناطق مرتفعة عن جوارها، وكلها مغطاة بماء المحيط.

القاري حكمًا قطعيًّا، معززا باستدلال تراجعي معقول كفايةً حول حركة سابقة للقارات، لأنها الاستنتاج الأفضل –والكافي– لتفسير كافة الحقائق ذات الصلة.[١٩]



الشكل (١٧–٢): يظهر النمط المتناظر للخطوط المغناطيسية المترددة بين القطبية (الطبيعية) و(المعكوسة) على جانبي الذرى في منتصف المحيط. يمكن تفسير نمط (مفاتيح البيانو) فقط من خلال حركة الصفائح التكتونية وتمدد قاع البحر، لذا فقد ساهم ذلك في انتشار قبول تلك النظريات في الجيولوجيا المعاصرة.

دعا فلاسفة العلم المعاصرون مثل (بيتر ليبتون Peter Lipton) طريقة الاستدلال هذه بـ(الاستدلال وصولًا إلى التفسير الأفضل).[٢٠] يستخدم العلماء هذه الطريقة عادة حين يحاولون تفسير بداية حدث أو بنية من الماضي، عندها يقارنون الفرضيات المختلفة ليروا أيها –إن صحت– أقدر على تفسير ما يحاولون تفسيره[٢١]، ثم يقررون مؤقتًا أي الفرضيات أفضل في تفسير البيانات، وأيها أقرب إلى الصواب.

من الواضح أن القول بأن: "التفسير الأفضل هو الذي يفسر كل الحقائق"، أو أنه هو "التفسير الأفضل لمعظم الحقائق" يصادر على سؤال مهم. ماذا يعني تفسير شيء ما بشكل جيد أو أفضل؟

طوَّر المؤرخون العلميون معايير تحدد التفسير الأفضل لشرح حدث ما في الماضي السحيق من بين مجموعة من الفرضيات المحتملة المتنافسة، كان المعيار الأهم من بين هذه المعايير هو (الكفاية السببية)؛ فعلى المؤرخ العلمي أن يحدد الأسباب التي نعرف قدرتها على إنتاج التأثير أو الخاصية أو الحدث الذي نتحرى عنه، كشرط لصياغة تفسير ناجح. وأثناء السعي لإيجاد هذه الأسباب يقيّم المؤرخ العلمي الفرضيات في ضوء معرفته الحاضرة عن السبب والنتيجة، فيحكم على الأسباب التي يعرف أنها تنتج التأثير الذي يتحرى عنه -أو التي يُظن أنها قادرة على إنتاجه- بأنها مرشحات أفضل من الآخرين. على سبيل المثال، يوفر الثوران البركاني تفسيرًا أفضل لطبقة من الرماد على الأرض، أكثر من الزلزال أو الفيضان، لأننا لاحظنا أن الثورات البركانية تنتج طبقات من الرماد، بينما لا تفعل الزلازل والفيضانات ذلك.

كان أحد أوائل مطوري معيار (الكفاية السببية) من خبراء التاريخ العلمي هو الجيولوجي تشارلز لايل Charles Lyell (١٧٩٧-١٨٧٥)، والذي أثر بدوره في تشارلز داروين. قرأ داروين رائعة لايل (مبادئ الجيولوجيا) أثناء رحلته على سفينة البيغل، ووظف مبادئ لايل في الاستدلال في كتابه (أصل الأنواع)، لخص العنوان الفرعي لكتاب لايل مبدأه المنهجي المركزي (محاولة لتفسير التغيرات السابقة لسطح الأرض، بالرجوع إلى الأسباب العاملة الآن) ١٨٣٠-١٨٣٣. جادل لايل أنَّ على العلماء أثناء سعيهم لتفسير الوقائع التي حدثت في الماضي ألا يستحضروا

أنواعًا مجهولة من الأسباب التي لم نشاهد لها آثارًا، بل عليهم أن يستشهدوا بأسباب نعلم من تجاربنا المتسقة uniform أنها قادرة على إحداث التأثير الذي نتحرى عنه.[٢٢]

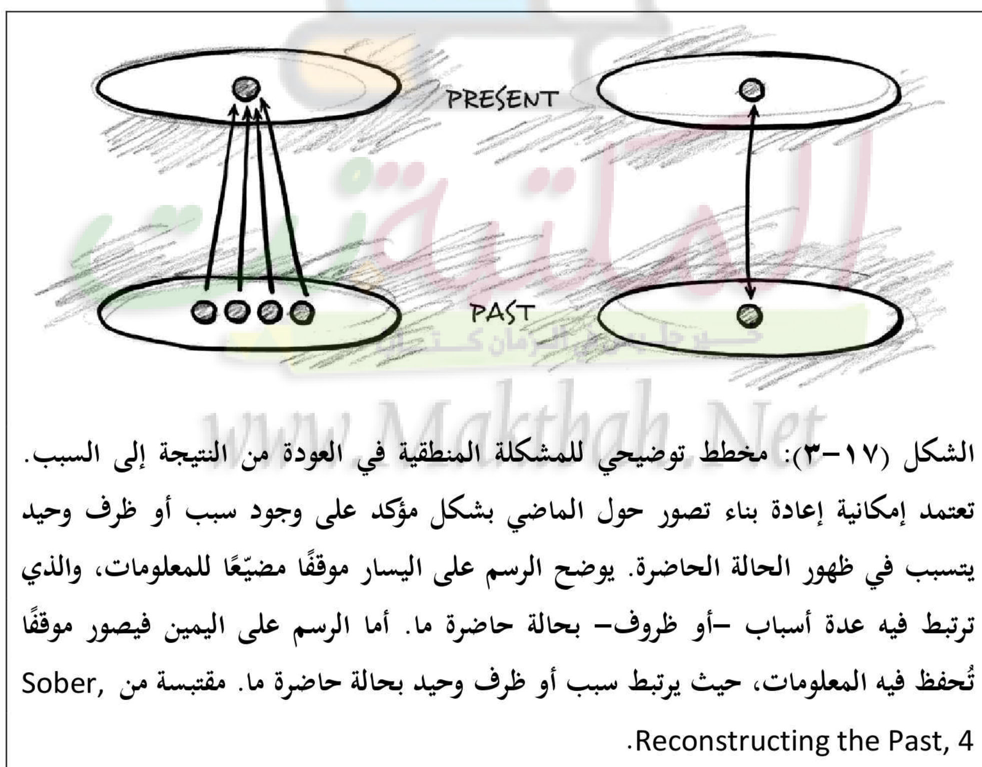
على المؤرخين العلميين الاستعانة بأسباب تعمل في الوقت الحاضر، أي (سارية المفعول). كانت هذه هي الفكرة وراء منهجه المنتظم uniformitarian وقوله الشهير المأثور: "الحاضر مفتاح الماضي". وفقًا لـ(لايل)، يجب أن تقود تجربتنا الحاضرة حول العلاقة بين السبب والنتيجة استدلالنا المنطقي على أسباب الأحداث الماضية، وهذا هو المبدأ المنهجي الذي تبناه داروين أثناء سعيه لتصوير الانتقاء الطبيعي على أنه مؤهل –كسبب حقيقي معلوم– لإحداث التغيير البيولوجي المهم.[٢٣] أي أنَّه سعى لإظهار الانتقاء الطبيعي على أنه (سبب كاف) لإنتاج الآثار التي كان يحاول تفسيرها.

السبب الوحيد المعلوم

ركز كل من فلاسفة العلم وأساتذة التاريخ العلمي على الكفاية السببية لكونها المعيار الحاسم الذي تُحاكم به الفرضيات المتنافسة، لكنْ أصرَّ فلاسفة العلم على أن تقييم القدرة التفسيرية يقود إلى استدلالات نهائية عندما يكون في دائرة السؤال سبب واحد فقط معلوم التأثير أو الدلالة.[٢٤] (الشكل ١٧–٣) إذا كان هناك عدة أسباب تستطيع إنتاج نفس التأثير، فإن وجود الأثر لا يعني أن أحدها هو السبب الحقيقي بشكلٍ قاطع. حين يعرف العلماء أن هناك سببًا وحيدًا لأثر ما، ويستطيعون الاستدلال على هذا السبب دون الوقوع في مغالطة الجزم بالنتيجة affirming the consequent –أي خطأ تجاهل الأسباب الأخرى المحتملة بالرغم من

مقدرتها على إنتاج نفس الأثر–[٢٥]، عندها يستطيعون استنتاج أو اكتشاف سبب ماض فريد ومعقول من المؤشرات التي خلّفها.

من الممكن أن يحدث هذا بإحدى الطريقتين التاليتين: الأولى، حين يركز المؤرخون العلميون تحرياتهم على حقيقة واحدة (معزولة) نعلم لها سببًا واحدًا فقط، في هكذا حالة يستطيعون استنتاج السبب من الأثر وحده بسرعة وبشكل قاطع ودون خطر الوقوع في مغالطة الجزم بالنتيجة، لأنه ليس هناك سبب آخرَ معلومٌ يسبب نفس الأثر، على سبيل المثال، إن الثوران البركاني هو السبب الوحيد المعلوم لوجود طبقة الرماد البركانية، وإنّ وجود طبقة من هذا النوع في موقع أثري يشير بقوة إلى حدوث ثوران بركاني سابق فيها.



الشكل (١٧–٣): مخطط توضيحي للمشكلة المنطقية في العودة من النتيجة إلى السبب. تعتمد إمكانية إعادة بناء تصور حول الماضي بشكل مؤكد على وجود سبب أو ظرف وحيد يتسبب في ظهور الحالة الحاضرة. يوضح الرسم على اليسار موقفًا مضيّعًا للمعلومات، والذي ترتبط فيه عدة أسباب –أو ظروف– بحالة حاضرة ما. أما الرسم على اليمين فيصور موقفًا تُحفظ فيه المعلومات، حيث يرتبط سبب أو ظرف وحيد بحالة حاضرة ما. مقتبسة من Sober, Reconstructing the Past, 4.

عندما يواجه المؤرخون العلميون دليلًا له أكثر من سبب معروف –في حالات أخرى غير حالتنا– يقومون بتوسيع تحرياتهم إلى أكثر من الحقيقة –أو مجموعة الحقائق– الأولية، حينها سيقومون بتوظيف الاستراتيجية الموصوفة أعلاه –كجزء من طريقة الفرضيات المتعددة المتنافسة– من خلال البحث عن دلائل إضافية إلى أن يجدوا جزئية ليس لها إلا سبب واحد، وعندها يستطيعون مقارنة القوة السببية لعدة فرضيات متنافسة. باستخدام هذه الاستراتيجية سيختار خبراء التاريخ العلمي السبب المفترض الذي أثبت قدرته على إنتاج كل الدلائل ذات الصلة، بما فيها الحقيقة الجديدة أو جزء الدليل الذي ليس له سوى سبب واحد معلوم. على سبيل المثال، إن اكتشاف النمط المتناظر لمغناطيسية قاع المحيط –بالنسبة لجانبي ذرى منتصفه– أفسح المجال لمقارنة القوة التفسيرية للفرضيات الثلاث المعتبرة، مما جعل فرضية تمدد قاع البحر التفسير الوحيد الكافي سببيًّا لكل الحقائق ذات الصلة.

عادة ما تسمح مقاربة كتلك للمؤرخين العلميين أن يختاروا حدثًا جزئيًّا من مجموعة آثار لها سبب واحد معروف أو معقول نظريًا، مما يجعل التأسيس لسبب ماض مؤكد أمرًا ممكنا. تستلزم هذه الاستراتيجية البحث في مجموعة أوسع من الحقائق مقارنة بالاستراتيجية الاولى، لكنّ حالة الاستدلالات المنطقية فيهما رغم ذلك هي نفسها. في كلا الحالتين، إن وجود حقيقة –سواء قائمة بذاتها أو مرافقة لحقائق أخرى– لها سبب واحد معروف يتيح للمؤرخين العلميين أن يقوموا باستدلال مؤكد على التاريخ السببي الذي في دائرة البحث، دون ارتكاب مغالطة الجزم بالنتيجة. منطقيًّا، إذا كان السبب المفترض شرطًا لازمًا أو سببًا لحدث –أو أثر معلوم–، فسيستطيع المؤرخون العلميون الاستدلال بشكل صائب على ذلك

الشرط أو السبب من وجود الأثر. إن كان حقًا أنه لا وجود لدخان بلا نار، فإن وجود دخان ينبعث فوق قمة جبل بعيدة يشير قطعيًّا إلى وجود نار أنتجته على الجانب الآخر من قمة الجبل.

الاستدلال التاريخي والتصميم الذكي

ما علاقة هذا كله بالانفجار الكامبري؟ إن له علاقة كبيرة حقا. أثناء تحرياتي عن المنهجية التاريخية العلمية، وجدت أن العلماء ينهجون منهج الاستدلال على التفسير الأفضل إجمالًا، سواء أدركوا ذلك أم لم يدركوه، وهم يقومون باستدلالات تراجعية على أسباب سابقة من مؤشرات حالية -أو دلائل أو آثار-، هذا ما جعلني أفكر لاحقا أنه لو كانت هناك خصائص للانفجار الكامبري أو الحيوانات الكامبرية يُمكن توقعها -كأمر مفروغ منه- لو لعب مصمم ذكي دوره في إحداثها، إذًا لكان من الممكن على الأقل أن نصوغ فرضية التصميم الذكي كاستدلال (تراجعي) تاريخي علمي، ويمكن لأنصار التصميم الذكي القيام باستدلال تاريخي علمي بطريقة نموذجية كما يلي:

الافتراض الأساسي: لو لعب التصميم الذكي دورًا في الانفجار الكامبري، فإن الخاصية (س)، المعروفة بأنها تنتج عن نشاط ذكي، سيمكن توقعها كأمر مفروغ منه.

الافتراض الثانوي: لوحظت الخاصية (س) أثناء حقبة الانفجار الكامبري من حياة الحيوان.

النتيجة: إذا لدينا سبب لنظن بأن سببًا ذكيًا لعب دورًا أثناء الانفجار الكامبري.

سيكون مبررًا أن يقوم المؤرخ العلمي باستدلال تراجعي كهذا للدلالة على نشاط سابق من قبل مسبب ذكي، لكنه مبرر فقط إذا كانت الخاصية (س) جلية في الانفجار الكامبري، وإذا ما كان التصميم الذكي معروفًا بإنتاج الخاصية (س). أضف إلى ذلك؛ أن مجرد ظهور خاصية ما –أو خصائص– في الانفجار الكامبري سببها المعلوم هو التصميم الذكي، فهذا لا يعني بالضرورة أن التصميم الذكي هو السبب الفعلي –أو التفسير الأفضل– لتلك الخصائص، لكن فقط إذا كان الحدث –الحيوانات الكامبرية– يظهر خصائص سببها المعلوم الوحيد هو التصميم الذكي، فيمكن عندها لخبير تاريخ العلم أن يقوم باستدلال قاطع على سبب ماضٍ ذكي.

إذن نحن أمام سؤالين مصيريين: هل هناك حقًا خصائص في سجل الانفجار الكامبري أو في الحيوانات التي ظهرت أثناءه –خصائص نعلم من تجربتنا أنها ناتجة عن أسباب ذكية– تبرر لنا القيام باستدلال تراجعي تقريبي وصولًا إلى التصميم الذكي؟ وهل هنالك أيضًا مظاهر نعلمها من خبرتنا عن الحدث الكامبري نفسه بأنها تنتج عادة من قبل أسباب ذكية، وأسباب ذكية فقط؟ هل تبرر استنتاجًا أكثر قطعية على وجود نشاط ذكي سابق وأنه التفسير الأفضل للأدلة المرتبطة؟ بعد كل هذا، هل كان "كبير الخدم" هو من ارتكب الجريمة؟

الفصل الثامن عشر

علامات التصميم في الانفجار الكامبري

علامات التصميم في الانفجار الكامبري

تُحل خيوط الروايات البوليسية المحبوكة جيدًا بالدهاء والمنطق الواضح، تمامًا كما تجري التحقيقات في الجرائم الحقيقية، فهناك وفاة لابد من تفسيرها، وفي البداية هناك يكون عدد هائل من الأسباب المحتملة، يمكن تقليص عدد هذه الأسباب بتزايد ظهور الأدلة في مسرح الجريمة حتى الوصول إلى السبب الحقيقي الوحيد. تأتي تلك الأدلة في شكلين: الدليل الإيجابي أو المؤشرات التي تدل على ما يُحتمل أن يكون قد حدث –مثل أغلفة الأعيرة النارية الملقاة على الأرض وثقوب الرصاص في الجسم– والدليل السلبي أو المؤشرات على الأمور التي كان من المستحيل حدوثها.

لنقل إن مأمور الشرطة المحلية اكتشف جثة مالك العقار –من تصوري في الفصل السابق– أثناء جولته على الطريق الترابي القريب من الشاطئ عند آخر العقار، حيث مات المالك. ولنقل أيضًا نتيجة لذلك أن المأمور قد وجد الجثة بالصدفة مباشرة بعد وقوع الجريمة. لنفترض أيضًا أن المأمور تذكر مباشرة قياس درجة حرارة الجثة ليجدها ما تزال دافئة، تقريبًا كحرارة جسم الإنسان الحي. واضح من ذلك أن المأمور سيستنتج في مثل هذه الحالة أن الضحية قد ماتت للتو، وعند تلك النقطة من التحقيقات فإن تفكير المأمور سيكون محكومًا بالعوامل الفيزيائية الحاكمة، وهي ما ستعطي معلومات كثيرة عن أولئك الذين يستبعد ارتكابهم للجريمة، فبعد الموت يبرد جسم الإنسان لدرجة حرارة الجو المحيط بسرعة معلومة. لذا، آخذين بالاعتبار استخدام القاتل لوسائل المواصلات، فإن من ارتكب الجريمة لن يستطيع الابتعاد لأكثر من مسافة معينة عن العقار بعد زمن العثور على الجثة.

ستوفر هذه الحقائق مباشرة دليلًا غيابيًّا متينًا لبراءة الغالبية العظمى من البشر الموجودين خارج هذه الدائرة لحظة اكتشاف الجثة. بالطبع، فإن تسمية هذه المعلومات بالإشارات السلبية هو مجرد اصطلاح على التسمية لا أكثر. يشير كل من "الإيجابي" و"السلبي" لكيفية فهمنا لمقتضيات الحقائق، وليس لماهية الحقائق بحد ذاتها، إذ أن الدليل في نهاية المطاف هو الدليل. مع ذلك، تستثني الأدلة وتسمح في الوقت ذاته للفرضيات الممكنة المتنافسة، وبتجمع الأدلة ترسم عادة صورة للسبب الحقيقي للحادثة التي نسعى لشرحها. لذا، عندما نقول "تستبعد حرارة جثة الفقيد ٧ مليارات شخص كانوا خارج دائرة معدل التبريد" فإن هذا بمثابة قولنا "إن حرارة الجسم تقتضي أن المجرم موجود في دائرة قطرها ٣٠ ميلًا من العقار عندما وصل المأمور لمكان الجريمة"، وتصبح الجماعة التي تحوي الفاعل المحتمل أصغر بكثير من الجماعة التي تحوي الفاعل في أول الأمر.

حيث وصفت العديد من محاولات شرح الأحجية العلمية التي حفزت نشر هذا الكتاب، فإن ذلك اللغز قد زاد عمقه أكثر وأكثر. فبفشل المزيد والمزيد من المحاولات والنظريات المتنوعة والمتنافسة لتفسير الانفجار الكامبري للحياة الحيوانية، فيمكن عندها اعتبار تلك الأدلة على أنها مجموعة من المؤشرات السلبية؛ أي أدلة تستبعد بفعالية أسبابًا أو تفسيرات محددة محتملة. وقد شرحت سلفًا سبب فشل النسخة المنشورة من النظرية التطورية (الداروينية الحديثة) في تفسير انفجار المعلومات والأشكال في العصر الكامبري. كما فحصتُ أيضًا النظريات التطورية الأحدث وأظهرتُ فشلها أيضًا في تفسير الجوانب الرئيسية من الأدلة. حتى هذه المرحلة نجد أن الأدلة تصدر أحكامًا سلبية، فهي تخبر الكثير حول ما لم يكن بالتأكيد سببًا للانفجار الكامبري. لكن، وكما هو الحال في قضية

الجريمة التي بين أيدينا، فإن مجموع الأدلة المتراكمة التي تقلص باستمرار من قبول مجموعة من التفسيرات وصحتها، ربما قد بدأت بتشكيل صورة للبدائل المتاحة، التي هي تفسيرات حقيقية للحادثة.

جمع البيانات عن المشتبه به

قبل أن يتعرف رجال التحريات على الشخصية الحقيقية للمشتبه به فإنهم يشكلون غالبًا ملفًا للشخص الذي يبحثون عنه، وقد استخدم أحد رواد علم الأحافير هذه الاستراتيجية ليبدأ رسم دوائر حول السبب المسؤول عن الانفجار الكامبري. كرس دوغلاس إروين حياته المهنية لحل معضلة نشوء المخططات الجسدية الحيوانية (الشكل ١٨-١)، وهو الذي تدرب في جامعة كاليفورنيا على يد خبير العصر الكامبري جيمس فالنتاين، وعمل بجد خلال العقد المنصرم مع إريك ديفيدسون، وهو خبير آخر في العصر الكامبري -والذي صادفناه لأول مرة في الفصل الثالث عشر- في محاولة لمعرفة ما الذي يقف وراء ظهور العشرات من المخططات الجسدية المبتكرة بتلك السرعة في العصر الكامبري.

استثنى كل من إروين وديفيدسون النظرية الداروينية الحديثة (المعيارية)، وكان رفض ديفيدسون لها قاطعًا، حيث قال أن النظرية المعيارية "سببت أخطاءً قاتلة".[١] لكنهما مضيا أبعد من ذلك وقاما بتجميع لائحة من المؤشرات والأدلة المفتاحية التي يجب أن يتمَّ تفسيرها، باستخدام هذه اللائحة بدءا بوضع مخطط -بالخطوط العريضة على الأقل- للسبب الذي يقف وراء الانفجار الكامبري.

استنتج ديفيدسون وأروين -في الجانب الإيجابي مما كتبوه- أن هذا المسبب يجب أن يتصف بعدة صفات ليستطيع تفسير الحقائق الأساسية في

السجل الأحفوري وكيفية بناء الحيوانات. تحديدًا، يجب أن يتصف هذا المسبب بـ:

١. القدرة على توليد نمط تنازلي لظهور الحيوانات.
٢. القدرة على توليد أشكال بيولوجية جديدة بسرعة كبيرة نسبيّا.
٣. القدرة على بناء –وليس مجرد تعديل– الدارات الجينية المتكاملة المعقدة – وخصوصًا شبكات تنظيم الجينات النمائية الموصوفة في الفصل ١٣–.

في الجانب السلبي نجد أنهما قد استبعدا كلًا من العمليات التطورية الصغروية الملاحظة والآليات التطورية الماكروية المفترضة –كالتوازن المتقطع وانتقاء الأنواع– كتفسير لنشوء السمات الأساسية للانفجار الكامبري، وأصرا على أن متطلبات بناء المخططات الجسدية الجديدة كليًّا لا يمكن أن تتوافق مع نظرية التطور الصغروي [أو] التطور الكبروي.[٢]



الشكل (١٨–١): دوغلاس إروين. بإذن من جامعة UPHOTO/Cornell.

ناقشنا في الفصل الثالث عشر الأسباب التي أوصلت إلى هذه النتيجة؛ حيث لا تتحمل شبكات تنظيم الجينات النمائية بمجرد وجودها أن يطرأ عليها أي تشويش –أو طفرات– دون حدوث عواقب كارثية[3] على الحيوان النامي، لذا فإن شبكات تنظيم الجينات الجديدة كليًّا (dGRNs) لا تملك القدرة على التطور التدريجي من dGRNs موجودة سلفًا إن كانت هذه التغيرات التطورية تتطلب تشويش المهمات العميقة لأسلافها من dGRNs. مع ذلك فإن بناء dGRNs جديدة قادرة على إنتاج حيوانات جديدة يتطلب بالتحديد هذه التغييرات الجذرية في dGRNs الموجودة سلفًا، لكن كيف ستظهر عندها الشبكات التنظيمية الجديدة؟ أصرَّ ديفيدسون وإروين على عدم وجود أي نظرية تطورية حالية قادرة على شرح أصل هذه الأنظمة، لذا استنتجا أن سبب الانفجار الكامبري لا تصفه أي نظرية مفترضة حاليًا في التطور الصغروي أو التطور الكبروي.

بقول هذا، يؤكد إروين على تميز الابتكارات التي حدثت في الانفجار الكامبري، ويشرح ذلك: "بخلاف الأحداث اللاحقة، فإن الأحداث النمائية الأهم في الانفجار الكامبري تشمل تكاثر الأنماط الخلوية، والهرميات النمائية، والشلالات فوق الجينية epigenetic cascades"[4]، بالتالي فإنَّه يستنتج أن "الفروق الحاسمة بين الأحداث النمائية في العصر الكامبري والأحداث التالية هي أن الأولى تشمل تأسيس هذه الأنماط النمائية وليس مجرد تعديلها".[5] لهذا السبب رفض إروين وجود أية صلة للحدث المركزي في الانفجار الكامبري –نشوء مخططات جسدية مبتكرة– مع العمليات البيولوجية التي نلاحظها الآن، بل أصرَّ على أن أحداث الماضي كانت مختلفة بشكل جذري، أي هنالك تباينات هائلة بين التطور وقتها والتطور اليوم.[6] لذا فإنه يضاعف نفيه لكفاية النظرية التطورية المعاصرة

بإضافة خاصية إضافية -ولو كانت صفة سلبية- لتصوره عن المشتبه به: "أيًا يكن السبب المسؤول عن توليد الأشكال الحيوانية الجديدة فلابد أنه كان مختلفًا عن العمليات البيولوجية الملحوظة اليوم والعاملة في الجماعات الحية".

جمع البيانات عن المسبب

يطرح كل هذا سؤالًا واضحًا: هل تستطيع كل الإشارات السلبية التي تؤكد بشكل متزايد فشل النظريات التطورية المادية أن تكون مؤشرات إيجابية تدل على مسبب من نوع آخر، كأن يكون مسببًا ذكيًا مثلًا؟

بجمع ملف من المعلومات حول هذا النمط من المسببات التي نحتاجها لتفسير أصل الحياة الحيوانية قام ديفيدسون وإروين وغيرهما من خبراء البيولوجيا التطورية -عن غير قصد- باعتبار فكرة التصميم الذكي أقل استحالة بدرجة ما. لنعرف السبب تعالوا نراجع سريعًا الملف الذي جمعه إروين وديفيدسون عن بيانات المشتبه به. فقد استنتجا أن سبب نشوء الأشكال الحيوانية الجديدة في الانفجار الكامبري يجب أن يكون قادرًا على:

١. توليد أشكال بيولوجية جديدة بسرعة.
٢. توليد نمط تنازلي لظهور الحيوانات.
٣. بناء -وليس فقط تعديل- الدارات الجينية المتكاملة المعقدة.

واستنتجا أيضًا أن هذا المسبب:

١. غير موصوف بأي من النظريات المفترضة في التطور الصغروي أو الكبروي.
٢. ولا يشابه أيّة عملية بيولوجية ملحوظة عاملة في الجماعات الحية اليوم.

لم يكن إروين وديفيدسون أصدقاء للتصميم الذكي، لكنهما وضعا مخططًا جزئيًّا لمسبب كافٍ يناسب تطلعاتهما الخاصة في أهمية شبكات تنظيم الجينات –ديفيدسون– والانقطاع الأحفوري –إروين–، وشاركهما في ذلك العديد من خبراء البيولوجيا التطورية. يتعجب سيمون كونواي موريس من "القدرة العجيبة للتطور على الإبحار عبر الاحتمالات البيولوجية في فضاءات الاحتمال الهائلة وصولًا إلى الحلول المناسبة".[٧] وكنتيجة لذلك فإنه يحاجج بأن التطور ربما تلقى توجيهًا ما نحو النقاط البنيوية الملائمة، والوظيفية الملائمة كذلك، أو قد يقتصر على أحدهما فقط، دون تحديد أي آلية تطورية معروفة قادرة على فعل ذلك.[٨] يفترض جيمس شابيرو آلية في التغير التطوري تعتمد على القدرة التكيفية المبرمجة سلفًا دون شرح المصدر الذي أتت منه هذه البرمجة.[٩] وتفترض العديد من النظريات التطورية الجديدة التي ناقشناها في الفصول السابقة وجود أشكال معلوماتية جينية وفوق جينية، لكنها لا تفسرها، وهو ما يلقي الضوء على الحاجة لمسبب قادر على توليد هذه المعلومات في المقام الأول.

قام إروين وديفيدسون بانطلاقة جريئة بوضعهما لائحة الدلائل التي استبعدت الداروينية الحديثة، لكن الدليل الذي خضع للاستكشاف في هذه الصفحات يقترح صفات إضافية لازمة على ملف المعلومات الذي وضعاه للمسبب الحقيقي للانفجار الكامبري، فقد اقترحت تحقيقاتنا السابقة أن بناء حيوان يتطلب معلومات نوعية ووظيفية، وأن أي تفسير لأصل الحيوانات الكامبرية يجب أن يحدد المسبب القادر على توليد:

١. المعلومات الرقمية.

٢. المعلومات البنيوية (فوق الجينية).

٣. مستويات المعلومات المتكاملة وظيفيّا، والمنظمة تراتبيّا.

لكن، هل تَصِلُ بنا أي من هذه المؤشرات –أو كلها– لإمكانية أن يكون مسبب من نمط آخر –ذكاء مصمم– قد لعب دورًا في نشوء الحياة الحيوانية؟

أجل، إذ إن كل واحدة من سمات الحيوانات الكامبرية والسجل الأحفوري الكامبري –كما يبدو– تتألف من مؤشرات سلبية –مؤشرات تقتضي أن تكون الداروينية الجديدة وغيرها من النظريات المادية غير كافية كتفسير سببي–، وهي أيضًا سمات لأنظمة نعرف من خبرتنا أنها تنشأ نتيجة لنشاط ذكي. بعبارة أخرى، فشلت النظريات التطورية المادية المعيارية في تحديد الآلية الكافية أو سبب وجود خصائص الأشكال الحية، والتي نعرف من خبرتنا أن الذكاء وحده –النشاط العقلاني الواعي– هو القادر على إنتاجها. يشير هذا الأمر –بما يتفق مع طريقة الاستنتاج العلمي التاريخي المشروحة في الفصل السابق– إلى إمكانية عمل استدلال تاريخي متين على التصميم الذكي، كتفسير أنسب لأصل هذه الخصائص.

تعالوا نلق نظرة على كل واحدة من سمات الحدث الكامبري، بدءًا بالسمات الأساسية للحيوانات الكامبرية بحد ذاتها، لنعرف كيف قد تشير هذه الحيوانات للنشاط الماضي لمصمم ذكي، بما يجعل من التصميم الذكي أمرًا يمكن إدراكه علميّا.

الانفجار المعلوماتي الكامبري

رأينا أن بناء حيوان كامبري –أو أي حيوان آخر– يتطلب معلومات رقمية نوعية وظيفية جديدة وكثيرة، وأن وجود هذه المعلومات المشفرة رقميًّا في (DNA) يُمثِّلُ على الأقل مظهرًا صارخًا للتصميم في كل الكائنات الحيَّة، كما يقول ريتشارد

دوكنز مثلًا: "إن الشيفرة الآلية في الجينات تشبه بشكل مذهل أجهزة الحاسوب".[١٠] بالمثل يشير أحد رواد التقانة الحيوية (ليرُوْي هوود Leroy Hood) للمعلومات المحفوظة في DNA "كشيفرة رقمية"، ويصفها بمصطلحات تذكر بالبرامج الحاسوبية.[١١] كما رأينا بيل غيتس مؤسس مايكروسوفت يقول: "يشبه DNA البرنامج الحاسوبي، لكنه أكثر تطورًا بكثير جدًا من أي برنامج قمنا بصنعه على الإطلاق".[١٢]

كما رأينا أيضًا أن الداروينية الحديثة وكل الآليات والنماذج التطورية المادية لا تفسر نشوء المعلومات الوراثية –الشيفرة الرقمية–، الضرورية لإنتاج الحيوانات الكامبرية أو حتى أبسط الابتكارات البنيوية التي تملكها، فهل نفهم من ذلك أن مظهر التصميم غير المفسر –من وجهة نظر مادية– يشير إلى التصميم الذكي حقيقة؟

أعتقد أن الإجابة نعم، لكن لتوضيح السبب أحتاج لأبين مزيدًا عن التطور وفق وجهة نظري حول المسألة.

بعد تعلم كيفية استنباط مختصي التأريخ لأسباب الحوادث في الماضي السحيق، طبقتُ أولًا طرائق الاستنباط هذه للإجابة على السؤال حول أصل المعلومات الضرورية لإنتاج الخلية الحية الأولى، واستخدمت في كتابي (التوقيع في الخلية) طريقة فرضية تعدد المتنافسين –أو استنتاج التفسير الأفضل– لتقييم الكفاية السببية للتفسيرات المفترضة للأصل الأول للمعلومات البيولوجية، وقد فشلت نماذج التطور الكيميائي –سواء كانت معتمدة على الصدفة أو على الحتمية الفيزيائية والكيميائية أو على مزيج من الأمرين– في إيجاد مسبب قادر على إنتاج المعلومات الرقمية الموجودة في DNA وRNA. مع ذلك، فإننا نعلم عن مسبب

ثبتت قوته السببية لإنتاج الشيفرات الرقمية، هذا السبب هو الواسطة الذكية. فبما أن العامل الذكي هو المسبب الوحيد المعروف القادر على توليد المعلومات –على الأقل بدءًا من المواد الكيميائية غير الحية–، فإنَّ التصميم الذكي يوفِّرُ التفسير الأمثل لنشوء المعلومات الضرورية لإنتاج الكائن الحي الأول.

إن الأدلة المذكورة في كتاب (التوقيع في الخلية) على التصميم الذكي محدودة بعناية كتحد للتطور الكيميائي، ويعترف العديد من علماء البيولوجيا التطورية بأن نظرية التطور الكيميائي فشلت في تفسير نشوء الحياة أول مرة، ويذكر العديد عجزها عن تفسير أصل المعلومات البيولوجية كأحد الأسباب الرئيسية لإعلان فشلها، لكونهم أيضًا لا يظنون أن الانتقاء الطبيعي قد لعب دورًا مهمًا في التطور قبل ظهور أولى الكائنات الحية ذاتية التضاعف، لذا فإن معظم علماء البيولوجيا التطورية يفكرون بأن شرح أصل المعلومات في السياق ما قبل الحيوي أصعب بكثير من تفسير أصل المعلومات الجديدة في الكائنات الحية الموجودة سلفًا.

لهذا السبب لم أحاول في كتابي (التوقيع في الخلية) القول بأن التصميم الذكي ربما يساعد في تفسير نشوء المعلومات الضرورية لتفسير أصل الحيوانات الجديدة من أشكال حية أبسط موجودة سلفًا، إذ سيتطلب ذلك عندها توضيحًا منفصلًا لعدم كفاية الانتقاء الطبيعي والطفرة كآلية لتوليد المعلومات الجينية الضرورية في الكائنات الحية الموجودة سلفًا. لكني قُمت بذلك في كتابي هذا في الفصول ٩ حتى ١٤، وتُظهر هذه الفصول كيف أن الداروينية الحديثة تفشل في تفسير نشوء المعلومات الجينية –على الأقل بكميات ضرورية لبناء طية بروتينية جديدة–، ويبين الفصلان ١٥ و ١٦ أيضًا أن النظريات التطورية المادية الأخرى

تفشل أيضًا في تفسير المعلومات الضرورية لبناء الأشكال الجديدة من الحياة الحيوانية، تفترض هذه النظريات سلفًا نشوء المعلومات الضرورية للابتكارات البنيوية في تاريخ الحياة بدلًا من أن تقوم بتفسيرها، ونظرًا لكون الانفجار الكامبري للحياة الحيوانية انفجارًا للابتكارات المعلوماتية والبنيوية، فإن ذلك يطرح السؤال التالي: هل من الممكن أن تمثل هذه الزيادة في المعلومات البيولوجية دليلًا مضادًا للنظريات المادية في التطور البيولوجي ودليلًا إيجابيًّا على التصميم الذكي؟

السبب يعمل الآن

نعم، إنه يعمل. أثبتت العوامل الذكية –نظرًا لحكمتها وإدراكها– القدرة على إنتاج معلومات وظيفية ونوعية على شكل تسلسلات نوعية خطية من الحروف، حيث تؤلف العوامل الذكية عادة الأشكال المعروفة من المعلومات الرقمية والأبجدية، وسيصل مستخدم الحاسوب الذي يتعقب مصدر المعلومات الظاهرة على شاشته إلى وجود عقل منشئ لها بلا شك، سواء كان مهندس البرمجيات أو المبرمج. بالمثل تُستقى المعلومات الموجودة في كتاب أو نص في النهاية من كاتب أو محرّر، وتؤكد معرفتنا المبنية على الخبرة لانسياب المعلومات أن الأنظمة التي تحوي كميات كبيرة من المعلومات الوظيفية أو النوعية قد نشأت بلا أدنى شك من مصدر ذكي، وأن توليد المعلومات الوظيفية "مرتبط عادة بالفعل الواعي".[١٣] وتؤكد خبرتنا المتكررة هذه الحقيقة الواضحة.

أضف لذلك أيضًا، أن التصميم الذكي يستوفي شرط (الكفاية السببية) للتفسير العلمي التاريخي الجيد، فالذكاء تحديدًا "سبب عامل الآن"، وقادر على توليد معلومات وظيفية أو نوعية بشكل رقمي، ففي الوقت الذي أكتب فيه هذه الكلمات يولِّدُ عقلي معلومات نوعية، إذ يولد الوسيط الذكي معلومات على شكل

شيفرة برمجية ونصوص قديمة وكتب وشيفرات عسكرية مشفرة وغيرها الكثير. ونظرًا لكوننا لا نعلم أي سبب مادي يعمل الآن قادر على توليد كميات كبيرة[١٤] من المعلومات النوعية –خصوصًا على شكل رقمي أو أبجدي–، فإن التصميم الذكي هو العامل الوحيد الذي يتصف بالكفاية السببية المطلوبة للتفسير العلمي التاريخي. أي أن خبرتنا المطّردة للسبب والنتيجة تُظهر أن التصميم الذكي، هو السبب الوحيد المعروف لنشوء كميات كبيرة من المعلومات الرقمية النوعية الوظيفية. نستنتج من ذلك أن المنبع العظيم لمثل هذه المعلومات في الانفجار الكامبري يأتي بشكل حاسم من مسبب ذكي.

إن التصميم الذكي وحده يقدِّمُ تفسيرًا لأصل المعلومات الجينية، فالعوامل الهادفة وحدها تملك تلك القوى الضرورية، التي يفتقدها الانتقاء الطبيعي كشرط لكفايته السببية، وقد رأينا أن الانتقاء الطبيعي ينقصه القدرة على توليد المعلومات المبتكرة؛ لأنه يعمل فقط بعد ظهور المعلومات الوظيفية الجديدة، فيمكن للانتقاء الطبيعي تفضيل بروتينات ومورثات جديدة، لكن فقط بعد أن تقوم بوظيفة محددة –أي تؤثر في الناتج التكاثري–، وإن مهمة توليد المورثات والبروتينات والأنظمة البروتينية الوظيفية الجديدة تقع بكليتها على عاتق الطفرات العشوائية. لكن دون المعيار الوظيفي الذي يقود البحث في فضاء التسلسلات الممكنة، فإن التغايرات العشوائية محكوم عليها بالفشل إحصائيًا، بالتالي فإن الذي نحتاجه ليس مجرد مصدر للتغايرات –أي حرية البحث في فضاء الاحتمالات– أو نمط انتقاء قادر على العمل بعد بحث ناجح، لكن ما نريده حقًّا هو طريقة للانتقاء: ١– تعمل خلال البحث –قبل نجاحه–. ٢– تكون موجهة بالمعلومات أو المعرفة نحو الهدف الوظيفي.

أتى إثبات هذه المتطلبات من مكان غير متوقع؛ إنه الخوارزميات الجينية. فالخوارزميات الجينية هي برامج يفترض أن تحاكي القدرة الخلاقة للطفرة والانتقاء، وقد طوَّر (ريتشارد دوكنز) و(بيرند-أولاف كوبرز) وآخرون برامج حاسوبية يفترض أنها تحاكي إنتاج المعلومات الجينية بالطفرة والانتقاء الطبيعي[١٥]، لكن هذه البرامج نجحت فقط بالتدخل الممنوع بتزويد الحاسوب بـ(تسلسل مستهدف)، من ثم البحث عما هو أقرب إليه -وهو الذي يمثل الوظيفة المستقبلية- وليس عن الوظيفة الموجودة واقعيًّا كمعيار انتقائي. وكما يبين الرياضي ديفيد بيرلنسكي فإن الخوارزميات الجينية تحتاج شيئًا مماثلًا لـ"ذاكرة تتطلع للمستقبل" من أجل أن تنجح.[١٦] لكن ليس لهذا الانتقاء ذي البصيرة نظير في الطبيعة، حيث يعتمد البقاء التفاضلي في البيولوجيا على الحفاظ على الوظيفة، لذا فمن غير الممكن أن يحدث الانتقاء الطبيعي قبل أن تظهر التسلسلات الوظيفية الجديدة، إذ يفتقر الانتقاء الطبيعي للنظرة المستقبلية، وهي العملية التي يذكر مُنظّرا التطور (رودين) و(ساتماري) أنها تعمل بشكل صارم "وفق اللحظة الراهنة، هنا والآن... وليس لها نظرة استشرافية بحثًا عن الفوائد المستقبلية المتوقعة".[١٧]

لكنّ ما يفقده الانتقاء الطبيعي يوفره التصميم الذكي (الانتقاء الموجه الهادف). إذ يمكن للعوامل العاقلة أن ترتب المادة والرموز مع وضع أهداف بعيدة في الاعتبار، ويمكنها أيضًا أن تحل معضلات التضخم التبادلي، وباستخدام اللغة يجد الدماغ البشري عادة -أو يولد- تسلسلات لغوية لتوضيح فكرة استوعبها سلفًا، أما تشكل هذه التسلسلات بطريق الصدفة فهو أمر بعيد الاحتمال للغاية. وفي عملية التفكير، يسبق الهدف الوظيفي ويقيّد انتقاء الكلمات والأصوات والرموز لتوليد تسلسلات وظيفية -وذات معنى- من حوض التوليفات التبادلية

الممكنة عديمة المعنى من الأصوات أو الرموز.[١٨] بالمثل، فإن بناء الأغراض والمنتجات التقنية المعقدة، كالجسور ولوحات الدارات والمحركات والبرمجيات، ينتج عن تطبيق المحددات الموجِهة نحو هدف معين.[١٩] والواقع أنه في كل الأنظمة المعقدة المتكاملة الوظيفية حيث يكون السبب معروفًا بالخبرة أو الملاحظة، يكون المهندسون المصممون أو العوامل الذكية قد طبقوا محددات على التوليفات الممكنة للمادة، لإنقاص الاحتماليات من أجل إنتاج أشكال أو تسلسلات أو بنى بعيدة الاحتمال بالصدفة. تُظهر العوامل الذكيّة مرارًا وتكرارًا القدرة على تقييد النتائج الممكنة لتحقيق وظائف مستقبلية بعيدة الاحتمال لم تحقَق من قبل، وتؤكد الخبرة المتكررة أن العوامل الذكية -العقول- تنفرد بامتلاك مثل هذه القدرات.

بالتالي يُظهر تحليل مشكلة نشوء المعلومات البيولوجية عجزًا في القدرة السببية للانتقاء الطبيعي والآليات التطورية غير الموجهة في الوقت الذي تُعرف فيه العوامل الذكية بتفردها بامتلاك مثل هذه القدرات، حيث تملك العوامل الذكية نظرة مستقبلية، ويمكنها أن تحدد أو تنتخب الأهداف الوظيفية قبل إنشائها، كما يمكن لها أن تَصنع أو تنتخب السبل المادية للوصول لتلك النهايات من بين مجموعة من الإمكانيات، من ثم بإمكانها أن تحقق تلك الأهداف بما يتوافق مع خطة التصميم الموضوعة سلفًا أو مع مجموعة المتطلبات الوظيفية. كما تستطيع العوامل الرشيدة أن تختار من الفضاء التبادلي مجموعة بعيدة المنال من النتائج الغنية بالمعلومات.

بالتالي، تتعلق القدرات السببية التي لا يملكها الانتقاء الطبيعي -وفق تعريفه- بالخصائص الإدراكية والرشيدة، أي بالذكاء الهادف، لذا لا يفترض المدافعون المعاصرون عن التصميم الذكي -من خلال الاحتكام إلى التصميم

الذكي للتغلب على مشكلة البحث التبادلي الكبيرة ولتفسير نشوء المعلومات النوعية الجديدة– عنصرًا اعتباطيًّا للتفسير وغير مدفوع باعتبارات الأدلة، بل يفترضون كيانًا يملك تمامًا القدرة السببية التي تتطلبها السمة الأساسية للانفجار الكامبري –الزيادة الانفجارية في المعلومات النوعية– كشرط لإنتاجه وتفسيره.

الدارات المتكاملة: شبكات تنظيم الجينات النمائية

لاحظ أن الأشكال الحيوانية تملك أكثر من مجرد المعلومات الجينية، فهي تحتاج أيضًا لشبكات متكاملة ومحبوكة من الجينات والبروتينات وغيرها من الجزيئات لتنظيم نمائها –أي أنها تتطلب شبكات تنظيم الجينات النمائية dGRNs التي وضع إريك ديفيدسون خرائطها بدقَّة بالغة أثناء عمله–. تواجه الحيوانات النامية تحديين، الأول هو وجوب إنتاجها لأنماط مختلفة من البروتينات والخلايا، والثاني هو وجوب أن تَصِلَ تلك البروتينات والخلايا في المكان الصحيح وفي الزمان الصحيح.[٢٠] أظهر ديفيدسون أن الأجنة تحقق هاتين المهمتين بالاعتماد على شبكات البروتينات التنظيمية الرابطة لـDNA –وتعرف بعوامل الانتساخ– وأهدافها المادية. تكون هذه الأهداف المادية نمطيا مقاطع من DNA –جينات– تنتج جزيئات بروتينات وRNA أخرى، تقوم بدورها بتنظيم التعبير عن غيرها من الجينات.

تُبين هذه الشبكات المعتمدة على بعضها من المورثات ومنتجاتها المظهر المذهل للتصميم، ويبدو مثال ديفيدسون التصويري لهذه الـdGRNs شبيهًا بالمخططات المتشابكة في مخطط هندسي كهربائي أو مخطط دارة متكاملة، وهو تشابه غير طبيعي ذكره ديفيدسون بنفسه. ويستغرق في التفكير قائلًا: "الذي يظهر

من تحليل dGRNs الحيوانية شيء صاعق؛ شبكة من التآثرات المنطقية المبرمجة في تسلسل الDNA، الذي يمثل بشكل أساسي جهازًا حاسوبيًّا بيولوجيًّا داخليّا".[٢١]

تُمثِّلُ هذه الجزيئات معًا شبكة متكاملة متينة من جزيئات الإشارة التي تعمل كدارة متكاملة، وتعرّف الدارات المتكاملة في الإلكترونيات بكونها أنظمة من مكونات لكل منها وظيفة كالترانزستورات والمقاومات والمكثفات، وتكون موصولة ببعضها لتقوم بأداء مهمة واحدة. بالمثل، تشكل أيضًا المكونات الوظيفية من dGRNs –مثل البروتينات الرابطة لDNA وتسلسلات DNA التي تستهدفها البروتينات والجزيئات الأخرى التي تنتجها وتنظمها البروتينات الرابطة والجزيئات المستهدفة– دارة متكاملة، وهي الدارة التي تشارك في تحقيق الوظيفة الكلية لإنتاج شكل حيواني بالغ.

مع ذلك، وكما شرحنا في الفصل الثالث عشر، كان ديفيدسون قد وضَّحَ بنفسه أن المحددات الوظيفية الشديدة التي تعمل هذه الأنظمة الجزيئية (dGRNs) وفقها تستثني تغيرها التدريجي بآليات الطفرات والانتقاء، لهذا السبب فشلت الداروينية الحديثة في تفسير أصل هذه الأنظمة الجزيئية وتكاملها الوظيفي. قام ديفيدسون –تمامًا كما يفعل أنصار البيولوجيا التطورية النمائية– بتفضيل نموذج من التغيير التطوري يتصور توليد الطفرات لتأثيرات نمائية كبيرة النطاق، لذا فإنها ربما تمرر دارات أو أنظمة وسطية غير وظيفية، لكن لم يعرّف لا أنصار التطور النمائي evo-devo ولا أنصار أي نظرية مادية تطورية مفترضة مؤخرًا آليات معتمدة على الطفرات التي تولد dGRN، أو أي شيء يشابه دارة معقدة متكاملة. ووفقًا لخبرتنا فوق كل ذلك، تُعرف الدارات المتكاملة المعقدة –والتكامل الوظيفي لأجزاء الأنظمة المعقدة عمومًا– بكونها منتجًا للكائنات الذكية، وتحديدًا المهندسين.

أيضًا، فإن الذكاء هو السبب الوحيد المعروف لمثل هذه التأثيرات، وطالما أن الحيوانات النامية توظف الدارات المتكاملة وتحديدًا تلك الدارات التي تُظهر أنظمة متكاملة وظيفية ومقيدة لأجزاء أو أنظمة فرعية، ونظرًا لكون الذكاء هو السبب الوحيد المعروف لهذه السمات، يبدو أن ضرورة وجود هذه الميزات في نماء الحيوانات الكامبرية تُشير إلى وجود عامل ذكي لعب دورًا في نشوئها (الشكل ١٣-٤).

التنظيم الهرمي للمعلومات الجينية وما فوق الجينية

بالإضافة للمعلومات المخزنة في كل جين من الجينات والمعلومات الموجودة في الشبكات الجينية والبروتينية المتكاملة في dGRNs، تضرب الأشكال الحيوانية مثلًا للتراتبية الهرمية أو طبقات الجزيئات والأنظمة والبنى الغنية بالمعلومات. فمثلًا، تتطلب الأجنة النامية معلومات فوق جينية على شكل:

١) أهداف وأنماط غشائية.
٢) أنظمة من الهياكل الخلوية.
٣) قنوات أيونية.
٤) جزيئات سكرية على سطح الخلايا (الشيفرة السكرية).

تتسم كلها بكونها مرتبة بشكلٍ نوعي. وكما ذكرنا في الفصل الثالث عشر، تنطوي الكثير من هذه المعلومات فوق الجينية في بنية بويضة الأم، وتورث مباشرة من الغشاء إلى الذي يليه بشكل مستقل عن الـDNA.

تتآثر هذه المعلومات البنيوية ثلاثية الأبعاد مع غيرها من الجزيئات والأنظمة الغنية بالمعلومات لضمان النماء الصحيح للحيوان. تؤثر المعلومات فوق الجينية

تحديدًا في التموضع الصحيح، وهي بالتالي تؤثر في وظيفة البروتينات التنظيمية – ومنها البروتينات الرابطة لـDNA وmRNA المرسال– والمكونات الغشائية المتنوعة الأخرى، كما تؤثر المعلومات فوق الجينية في وظيفة شبكات تنظيم الجينات النمائية. لذا فإن المعلومات في المستويات البنيوية الأعلى في بويضة الأم تساعد في تحديد وظيفة كامل الشبكات الجينية والبروتينية dGRNs، وأيضًا الجزيئات -المفردة –نواتج الجينات– في مستوى أخفض في الحيوان النامي. إن المعلومات الجينية ضرورية لتحديد تسلسل الحموض الأمينية في البروتين أو تسلسل الأسس في جزيئات RNA، وبالمثل، تكون dGRNs ضرورية لتحديد موقع ووظيفة العديد من منتجات الجينات، أو أحد هذين العنصرين فقط. بطريقة مشابهة، تكون المعلومات فوق الجينية ضرورية لتحديد الموقع والوظيفة في الجزيئات والأنظمة الجزيئية على مستويات أخفض، من ضمنها dGRNs نفسها.

فدور المعلومات فوق الجينية يعتبر مثالًا واحدًا فقط من العديد من الأمثلة على التراتبية الهرمية للبُنى والأنظمة والجزيئات الغنية بالمعلومات –أو الطبقات المتراكبة–. والحقيقة أنه في كل مستوى من السلم الهرمي البيولوجي تتطلب الكائنات الحية تراتيب محددة نادرة الاحتمال غنية بالمعلومات من مكونات أخفض في المستوى للحفاظ على شكلها ووظيفتها. تتطلب الجينات ترتيبات محددة من الأسس النكليوتيدية، في حين تتطلب البروتينات ترتيبات محددة من الحموض الامينية، وتتطلب البنى الخلوية وأنماط الخلايا ترتيبات محددة من البروتينات أو الأنظمة البروتينية، وتتطلب الأنسجة والأعضاء ترتيبات محددة من أنماط محددة من الخلايا، وتتطلب المخططات الجسدية ترتيبات متخصصة من النسج والأعضاء. تشمل الأشكال الحيوانية مكونات غنية بالمعلومات من

مستويات منخفضة –كالبروتينات والجينات–، وتحتوي أيضًا ترتيبات من هذه المكونات تكون غنية بالمعلومات –كترتيبات من الجينات ومنتجاتها في dGRNs أو البروتينات في أنظمة الهياكل الخلوية أو الأهداف الغشائية–. أخيرًا، تظهر الحيوانات أيضًا ترتيبات غنية بالمعلومات من الأنظمة والبُنى عالية المستوى –كترتيبات أنماط خلوية ونسج وأعضاء محددة تشكل مخططات جسدية محددة–.

تقترح الترتيبات الهرمية عالية التحديد فائقة التكامل من المكونات والأنظمة الجزيئية في المخططات الجسدية الحيوانية أيضًا صحة التصميم الذكي، ويرجع هذا أيضًا لخبرتنا بالسمات والأنظمة التي تنتجها العوامل الذكية وحدها فقط. وبناءً على خبرتنا، فإننا نعلم حقًا أن العوامل البشرية الذكية تَمِلكُ القدرة على توليد ترتيبات نوعية وظيفية ومعقدة من المادة –أي توليد تعقيد محدد (نوعي) أو معلومات محددة نوعية–. أضف لذلك أن الكائنات البشرية تصمم غالبًا تراتبيات غنية بالمعلومات، تُظهر فيها النماذج الفردية والترتيبات المبنية من هذه النماذج الفردية تعقيدًا وتخصصًا، أو معلومات محددة كما عرّفناها في الفصل الثامن. تظهر الترانزيستورات والمقاومات والمكثفات المنفردة في الدارات المتكاملة تعقيدًا كبيرًا وتخصصًا في التصميم، لكن في المستويات الأعلى من التنظيم تتطلب الترتيبات والتوصيلات النوعية بين هذه المكونات ضمن دارة متكاملة المزيد من المعلومات، وتعكس مرحلة أخرى من التصميم (الشكل ١٤–٢).

تملك العوامل العقلانية الواعية، كجزء مما تملكه من الذكاء الهادف، القدرة على تصميم الأجزاء الغنية بالمعلومات وتنظيم هذه الأجزاء في أنظمة وتراتيب وظيفية غنية بالمعلومات. لا نعلم عن وجود أي كينونة أو عملية سببية لها مثل هذه القدرة، وواضح أننا نملك سببًا كافيًا للشك في أن تكون الطفرات والانتقاء أو

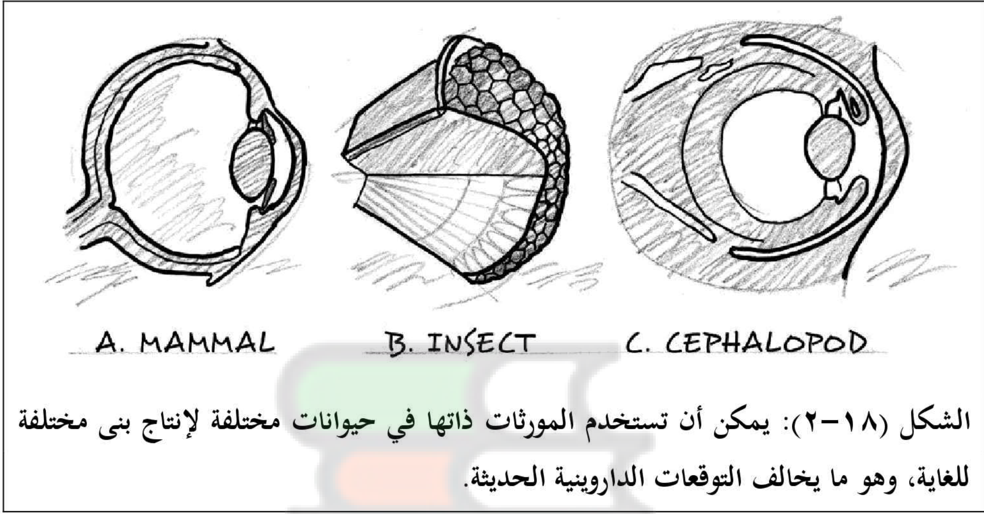
العمليات ذاتية التنظيم، أو أي عمليات أخرى غير موجهة كالتي تذكرها النظريات المادية التطورية الأخرى قادرة على فعل ذلك. لذا، وبناءً على خبرتنا الحالية لقدرات الكينونات السببية المختلفة وتقييمنا الدقيق لكفاءة مختلف الآليات التطورية، يمكننا استنتاج أن التصميم الذكي هو التفسير الأمثل لنشوء المستويات التنظيمية الهرمية من المعلومات المطلوبة لبناء الأشكال الحيوانية التي ظهرت في العصر الكامبري.

الموقع.. ثم الموقع.. ثم الموقع

هناك جانب مذهل آخر في التنظيم الهرمي للمعلومات في الأشكال الحيوانية، حيث تلعب العديد من الجينات والبروتينات المماثلة دورًا مختلفًا جدًا اعتمادًا على السياق المعلوماتي الذي تجد فيه نفسها ونوع الكائن الحي ضمن المجموعات الحيوانية المختلفة.[٢٢] فمثلًا، تساعد الجينة Pax-6 أو نظيرتها المسماة eyeless في تنظيم نماء العيون عند ذبابات الفاكهة –أحد مفصليات الأرجل–، وهي نفسها التي تقوم بنفس العمل في الحبار والفئران –رأسي الأرجل وفقاري بالترتيب–، لكنّ عيون مفصليّ الأرجل تمثل بنية مختلفة تمامًا عن عيون الفقاريات أو رأسيات الأرجل، حيث تملك ذبابة الفاكهة عينًا مركبة تتألف من مئات العدسات المنفصلة (العديسات ommatidia)، في حين يملك كل من الحبار والفأر عينًا شبيهة بآلة التصوير ذات السطح الشبكي والعدسة الواحدة، أضف لذلك تتشابه عيون الحبار والفأر بصريًا –عدسة واحدة وحجيرة داخلية كبيرة وسطح شبكي واحد–، لكن آلية التركيز (التبئير) فيهما مختلفة، كما أنها تتابعان في سبيلين مختلفين تمامًا أثناء النماء وتوظف بنى داخلية ووصلات عصبية مختلفة نحو المراكز البصرية في الدماغ. رغم ذلك فإن مورثة Pax-6 ونظائرها تلعب دورًا

أساسيًا في تنظيم بناء كل هذه البنى الحسية البالغة المتباينة الثلاثة، وقد وجد أيضًا علماء البيولوجيا النمائية والتطورية أن هذا النمط: "جينات متماثلة وتشريح مختلف" يتكرر في شعبة متناظرات الجانبين bilaterian phyla في سمات أساسية أخرى كالأطراف والفصوص والقناة الهضمية والقلب والأعضاء الحسية.[٢٣] (الشكل ١٨–٢)

يتعارض هذا النمط مع توقعات نظرية التطور التقليدية، إذ تتوقع الداروينية الحديثة أن البُنى البالغة المتباينة يجب أن تنتج من جينات مختلفة، ويتبع هذا التوقع مباشرة في افتراضات النظرية الداروينية الحديثة أن كل التحولات التطورية – بما فيها التشريحية– تبدأ بطفرات في تسلسلات DNA، تثبت هذه الطفرات في الجماعات بالانتقاء الطبيعي أو الجنوح الجيني أو العمليات التطورية الأخرى. يتجه سهم السببية في جهة واحدة من الجينات DNA إلى النماء إلى التشريح البالغ، لذا فإن لاحظ البيولوجي أشكالًا حيوانية مختلفة، فإن عليه أن يتوقع أن جينات مختلفة هي من تخصص هذه الأشكال خلال نماء الحيوان، وبأخذ هذه التباينات الكبيرة بين عين ذبابة الفاكهة المركبة وعين الفقاريات الشبيهة بآلة التصوير نجد أن النظرية الداروينية الحديثة لا تتوقع أن تؤدي الجينات المتماثلة لبناء عيون مختلفة في مفصليات الأرجل والحبليات chordates.[٢٤]



الشكل (١٨–٢): يمكن أن تستخدم المورثات ذاتها في حيوانات مختلفة لإنتاج بنى مختلفة للغاية، وهو ما يخالف التوقعات الداروينية الحديثة.

اعترف العديد من منظري التطور بهذه المشكلة، إذ يذكر الباحث في التطور النمائي evo-devo من جامعة ويسكونسن (شاون ب. كارول) أن التنبؤات الداروينية الحديثة بأن الجينات المتشابهة تنتج بُنى متشابهة "غير صحيح البتة"[٢٥]، ويَصِفُ ستفن جاي غولد اكتشاف الدور متعدد الوظائف للجينات المتماثلة بكونه "غير متوقع بصراحة" و"يزعزع الثقة بالتوقعات التي تقتضيها عقائد هذه النظرية".[٢٦]

تقترح نظرية التصميم الذكي حلًا للمشكلة، وهو حل مألوف لنا عند بناء وتنفيذ مصنوعاتنا، يظهر (الشكل ١٨–٣) ترانزيستور متعدد الوظائف متحكم بالدارة، يمكن استخدام هذه المكونات الإلكترونية للمساعدة في بناء أنظمة إلكترونية، بدءًا من الحواسيب، وصولًا لفرن المايكرويف وحتى الراديو. سيُضبط الدور الوظيفي الدقيق الذي يلعبه الترانزستور حسب النظام الذي يوجد فيه –ويجب على أحدنا أن يأخذ بعين الاعتبار المحددات الخاصة بالترانزستور نفسه، فالترانزستور لا يعمل كبطارية–.

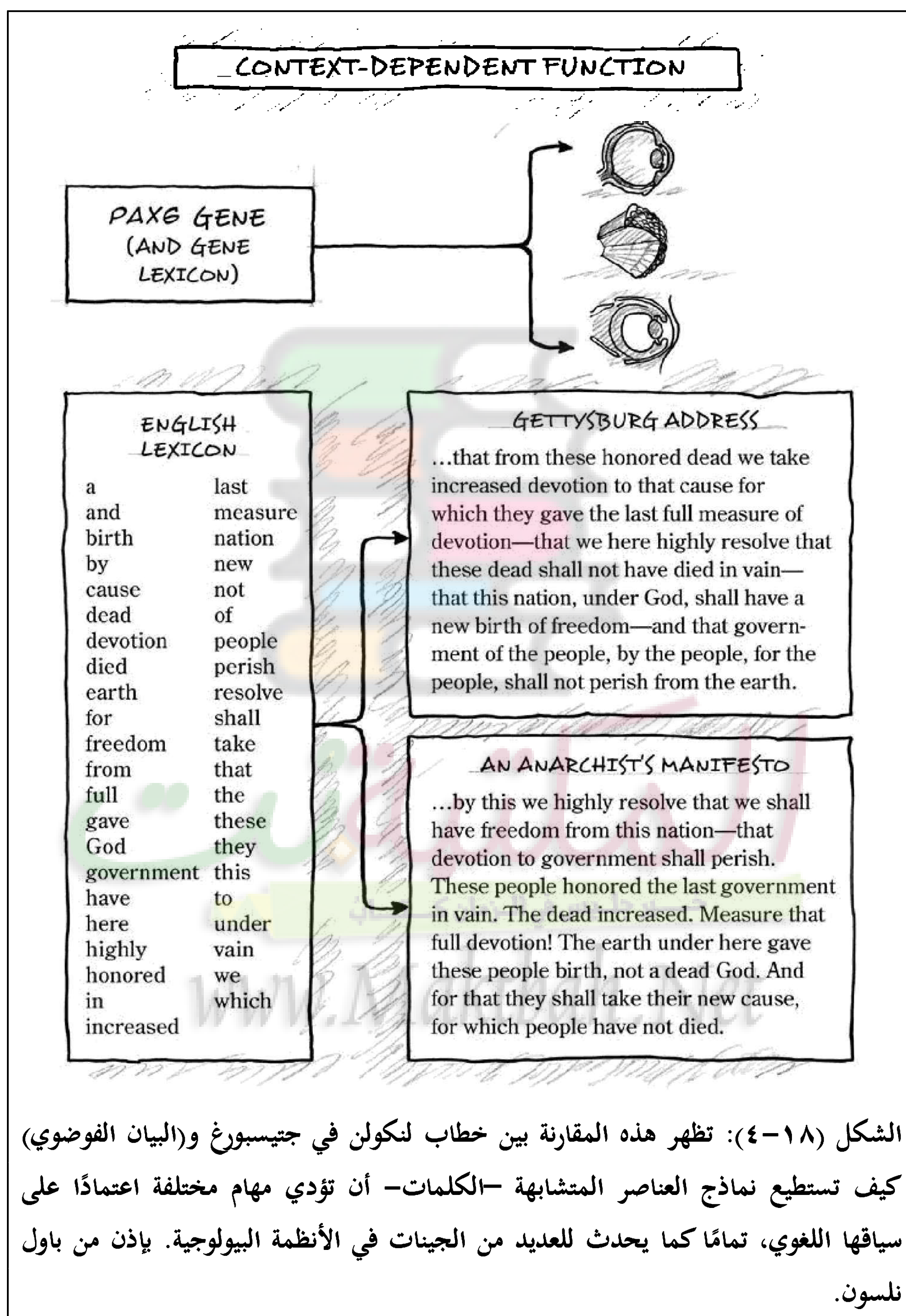
ليس هناك موضع يتضح فيه استخدامنا لسمة الوحدات متعددة الوظائف من اللغات الطبيعية كاللغة الإنجليزية، ولتوضيح هذه الفكرة قام زميلي باول نلسون مرة بتفكيك آخر ٤٤ كلمة من خطاب إبراهام لينكولن في مدينة جتيسبورغ (الشكل ١٨-٤) في معجم، وباستخدام نفس الكلمات بنفس عدد تكراراتها في نص الخطاب كتب "بيانًا فوضويًا"[١] بمعنى مخالف تمامًا لخطاب لنكولن. لم يتغير شيء في الوحدات الدنيا من الخطاب -وهي الكلمات-، لكن كل ما تغير هو السياق في المستوى الأعلى -تغير النظام ككل-، فقد كتب لنكولن وبذهنه فكرة يريد التعبير عنها، في حين كتب فوضويٌّ النص الآخر بفكرة أخرى في ذهنه، وهذا كان كافيًا لعمل هذا الفرق في وظيفة العناصر أو الوحدات في الأنظمة المختصة. أطلق نلسون على هذا الاعتماد على السياق عندما يحدث في البيولوجيا (مبدأ السياق في الكائنات الحية)، وشبهه بالاعتماد على سياق الكلمات في اللغة أو الأجزاء من السوية الدنيا في الأنظمة التقنية.



الشكل (١٨-٣): ترانزيستور متعدد المهام. وهو مثال على المكوِّن الذي يمكن استخدامه لأداء وظائف مختلفة في أنظمة مختلفة التصميم. بإذن من iStockphoto.com/S230.

---

(١) أناركيزم، أو الفوضوية: نظرية سياسية تقول بأن جميع أشكال السلطة الحكومية غير مرغوب فيها ولا ضرورة لها البتة، وتنادي بإقامة مجتمع مرتكز على التعاون الطوعي بين الأفراد والجماعات.



الشكل (١٨-٤): تظهر هذه المقارنة بين خطاب لنكولن في جتيسبورغ و(البيان الفوضوي) كيف تستطيع نماذج العناصر المتشابهة -الكلمات- أن تؤدي مهام مختلفة اعتمادًا على سياقها اللغوي، تمامًا كما يحدث للعديد من الجينات في الأنظمة البيولوجية. بإذن من باول نلسون.

احتج أيضًا بأن التصميم الذكي يوفِّرُ تفسيرًا مقنعًا لوجود النمذجة متعددة الوظائف في الأنظمة الحية، لكن ما السبب؟ ليس فقط لأن تعدد وظائف الوحدات الجينية أمر غير متوقع في النظرة الداروينية الحديثة، لكن أيضًا لكونها سمة شائعة للأنظمة المصممة من قبل طرف ذكي، وكما يذكر نلسون و جوناثان ويلز: "قد يعيد المسبب الذكي استخدام أو توظيف الوحدات نفسها في أنظمة مختلفة دون أن يكون هناك أي ارتباط فيزيائي أو مادي بين هذه الأنظمة".[٢٧] لاحظا أيضًا أن العامل الذكي "قادر على توليد أنماط متطابقة بشكل مستقل" واستخدامها بأشكال مختلفة في أنظمة متعددة من الأجزاء:

"لو افترضنا أنَّ المصمم الذكي بنى الكائنات الحية باستخدام المجموعة الشائعة من الوحدات الجينية متعددة الوظائف –تمامًا كالمصممين البشريين، فمثلًا ربما يستخدم الإنسان نفس الترانزستورات أو المكثفات في مذياع السيارة أو الحاسوب– عندها نستطيع معرفة سبب وجود نفس الجينات التي يُعبر عنها في النماء في كائنات حية مختلفة جدًا... تجد جينة محددة موظفة دورها الوظيفي في النظام عالي المستوى بسبب خواصها الرابطة لـDNA، لكن يرجع أصلها الأول لمسبب ذكي".[٢٨]

يتابع ويلز ونلسون ليفسرا أنَّ "الأنظمة الكلية، وليس الجينات المفردة بحد ذاتها" هي من تحدد الأهمية الوظيفية النهائية لوحدات السوية الدنيا، تمامًا كما هو الحال في التقنيات البشرية أو أنظمة الاتصالات. تحديدًا، فإنَّ كلًا من البرمجيات والقطع الحاسوبية –الدارات المتكاملة– تظهر هذه السمة، وهو ما يمكن تسميته النمذجة متعددة الوظائف والمعتمدة على السياق. بالمثل، يحمّل البشر النصوص الغنية بالمعلومات معانٍ مختلفة، كما هو الحال في خطاب جتيسبورغ والنص الثائر

على السلطة، ذلك باستخدام نماذج من المستوى الأدنى –الكلمات– اعتمادًا على السياق المحيط بها. ومن خبرتنا نجد أننا دومًا عندما نتعرف على كيفية ظهور الأنظمة التي تملك هذه الخصائص، نجد أن السبب وراءها هو التصميم الذكي.

سمات السجل الأحفوري الكامبري وما قبل الكامبري

لا يساهم التصميم الذكي فقط في شرح العديد من الخصائص الأساسية لحيوانات العصر الكامبري فقط، لكنه يساهم أيضًا في تفسير العديد من الشذوذات الأخرى في السجل الأحفوري الكامبري.

المخروط المقلوب؛ التباين يسبق التنوع

ناقشنا في الفصل الثاني كيف أنَّ السجل الأحفوري يبدي نمطًا تنازليًّا يظهر فيه التباين المورفولوجي على مستوى الشعب أولًا، ثم يليه التنوع على مستوى الأنواع لاحقًا، تسبق الابتكارات في المخططات الجسدية التغايرات الصغيرة على أساس التصميم.[٢٩] يقترح "هذا المخروط المقلوب من التنوع" فكرة التصميم الذكي.

تسعى الداروينية الحديثة لتفسير نشوء المخططات الجسدية المبتكرة من خلال البدء بمخططات جسدية أبسط، وتجميع الحيوانات تدريجيًّا إلى مخططات جسدية أكثر تعقيدًا بالتراكم التدريجي للتغايرات المادية المتتالية الناجحة، لذا فإن الداروينية الحديثة توظف نمطًا سببيًّا تصاعديّا. يجب أن تُنتج التنوعات صغيرة النطاق في نهاية المطاف في الطريقة التصاعدية تباينًا مورفولوجيًا واسع النطاق، أي تغيرًا في المخطط الجسدي. يصفُ التصوير التصاعدي نوعًا من التجمع الذاتي يولّد فيه الإنتاج التدريجي للأجزاء المادية في النهاية التنظيم الكلي، يقترح هذا

بدوره أن توجد الأجزاء سببيًا قبل التنظيم الكلي. وكما ناقشنا سابقًا فإن هذه المقاربة تواجه صعوبات بيولوجية وأحفورية؛ حيث لا يترك السجل الأحفوري أي دليل على عملية كهذه، كما أنَّ الابتكارات والتحولات البيولوجية التي تتطلبها غير منطقية بيولوجيًّا في كل الأحوال.

لكن إن فشلت المقاربة التصاعدية فربما تنجح الطريقة التنازلية، حيث يبدأ اتجاه السببية التنازلي بالبنى الأساسية أو المخططات، من ثم يتابع نحو تجميع الأجزاء بما يتفق مع هذه المخططات. توجد المخططات سببيًا قبل تجميع الأجزاء وترتيبها، لكن من أين يمكن أن تأتي مثل هذه المخططات؟ تشمل أحد الإمكانيات نمطًا سببيًّا عقليًا. تضع العوامل الذكية غالبًا المخططات قبل تمثيلها ماديًا، أي أن تصميم المخطط يسبق غالبًا تجميع الأجزاء وفق تلك المخططات. لن يرى المتجول في أجنحة مصنع جنرال موتورز أي دليل مباشر على وجود خطة مسبقة للطرازات الجديدة التي تصدرها الشركة، لكنه سيدرك خطة التصميم الأساسية مباشرة عند ملاحظة المنتج النهائي في آخر خط التجميع. تظهر الأنظمة المصممة –سواء كانت سيارات أو طائرات أو حواسيب– دومًا وجود خطة تصميم تسبق بداية التجميع المادي وفق تلك الخطة. لكن الأجزاء لا تنتج الكل، ففكرة الكل هي ما قاد عملية تجميع الأجزاء.

يستطيع هذا الشكل من السببية أن يفسر بالتأكيد نمط السجل الأحفوري، فبظهور الأنواع الجديدة في العصر الكامبري تظهر مخططات جسدية متكاملة وظيفيًّا ومتباينة شكليًّا وجديدة كليًا. لذا، بالرغم من أن الدليل الأحفوري لا يثبت مباشرة وجودًا سابقًا للمخطط الورقي أو العقلي، لكن مثل هذه الخطة ستشرح بالتأكيد –أو تُستنتج من– النمط التنازلي في الدليل الأحفوري، أي لو كانت

المخططات الجسدية للحيوانات الكامبرية تظهر نتيجة للنمط السببي التنازلي، الذي يتضمن وجودًا سابقًا لمخطط تصميم، فإننا سنتوقع أن نجد بالضبط نمط الدليل الذي نراه حقًا في السجل الأحفوري بناءً على خبرتنا في الأنظمة المصممة المعقدة. أيضًا، فإن الأنماط السببية المادية التصاعدية تفشل في تفسير النمط نفسه من الدليل الأحفوري. لذا فإن التصميم الذكي يوفِّرُ تفسيرًا أفضل لهذه السمة من سمات السجل الأحفوري الكامبري مقارنة بالتفسير الذي تقدمه النظريات التطورية المادية المنافسة.

يمكن لفرضية التصميم أن تشرح أيضًا "سبب ظهور التنوع صغير النطاق بعد، وليس قبل التباين المورفولوجي في السجل الأحفوري"، أو لنقلها بلغة أجمل: "سبب ظهور السمات الأساسية في الحياة قبل ظهور التغايرات في هذه السمات". تملك الأنظمة المصممة المعقدة تكاملًا وظيفيًّا جذريًّا يجعل من تعديلها أمرًا صعبا، لهذا السبب يجب ألا نتوقع أن تقوم آليات تغيير تدريجي بإنتاج مخططات جسدية جديدة، أو تغييرها جذريًّا بعد أن وجدت، لكن يمكننا أن نتوقع إيجاد تغايرات في هذه السمات الرئيسية ضمن الحدود الوظيفية الموضحة بالبنية الأساسية أو المخطط الجسدي. تتطلب أشكال التنظيم الجديدة كليًّا تصميمًا بداية من العدم، فمثلًا لا تظهر الطائراتُ تدريجيًّا، ولا تنمو من السيارات مثلًا، إلا أن الإبداعات الجديدة تتراكم غالبًا في التصاميم الجديدة بشرط ألا يتغير المخطط الأساسي التنظيمي.

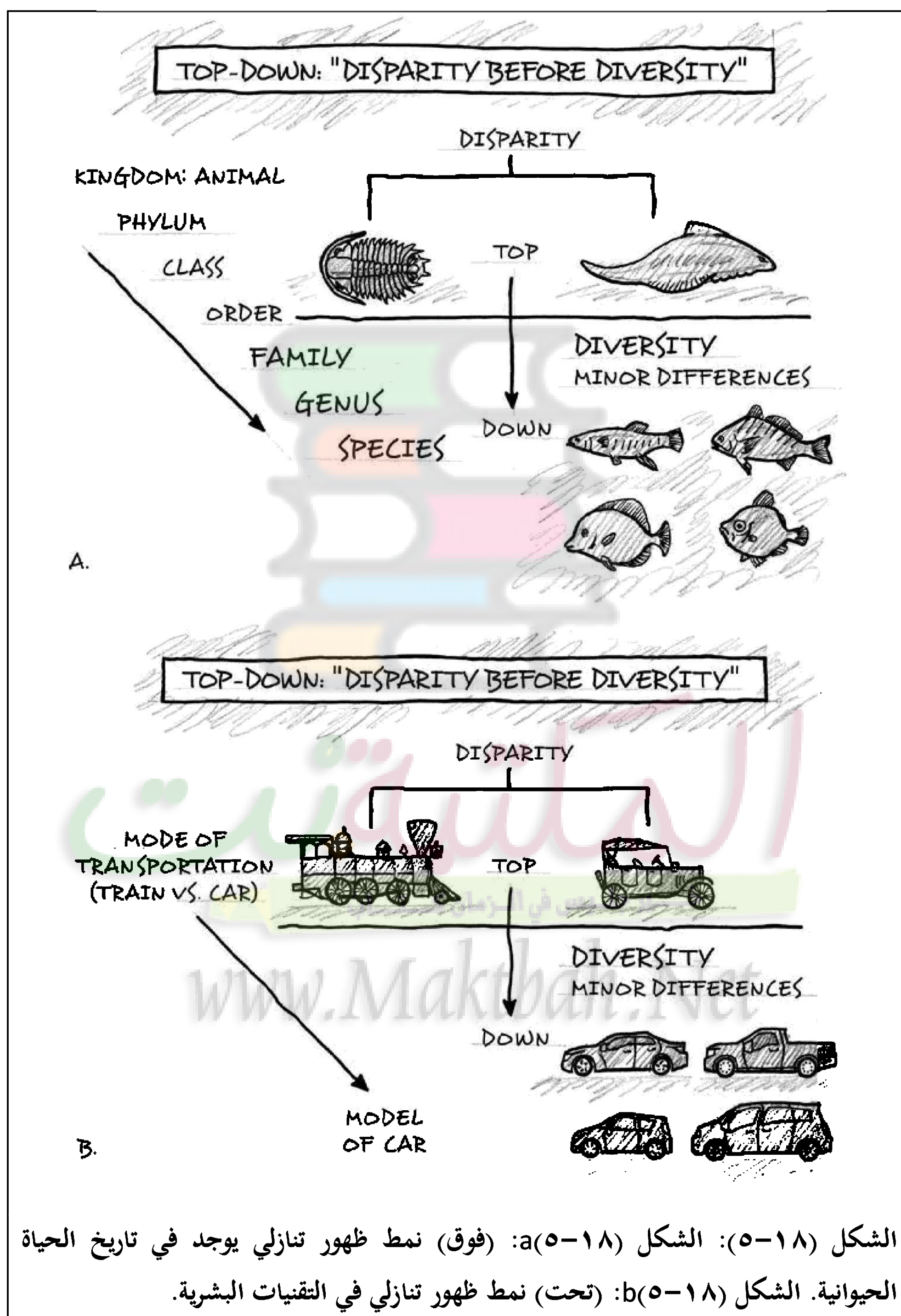
تُصنع السيارات منذ اختراعها على نفس البنية الأساسية والعناصر الوظيفية، بما في ذلك المحرك وثلاثة عجلات على الأقل –وعادة أربعة–، وعربة فيه مقاعد للركاب، وبنية تصل العجلات بالعربة، ومقود متصل بعمود –أو آلية مماثلة–،

وطريقة لنقل الطاقة من المحرك إلى العجلات. هذه هي المتطلبات الدنيا بالطبع، فالعديد من السيارات تستخدم المحاور لتصل بين العجلات بخلاف بعضها الآخر، وسيارة ليموزين طويلة ستحتاج عجلات أو محاور إضافية، والحقيقة أن جميع السيارات تقوم على التصميم الأساسي نفسه رغم ظهور العديد من التنوعات الجديدة في النموذج الأصلي بعد اختراع التصميم الأولي للسيارة. ومن المثير أننا نلاحظ أيضًا هذا النمط في السجل الأحفوري، حيث تظهر المخططات الجسدية الحيوانية الأساسية أولًا ممثلة في نوع أو جنس واحد -أو أنواع وأجناس قليلة-، من ثم تظهر العديد من التنوعات لاحقًا بكثير من السمات الجديدة. رغم ذلك تبقى كلها مالكة لنفس المخطط الجسدي الأساسي.

تظهر الخبرة علاقة هرمية بين السمات الضرورية وظيفيًا والسمات الاختيارية وظيفيًا في الأنظمة المصممة، فالسيارة لا تقوم بوظيفتها إن نقصها المحرك أو آلية القيادة، لكنها يمكن أن تعمل وظيفيًا بوجود النوابض التي تحمل العربة فوق العجلات أو بغيابها، كذلك في حالة المكابح المضادة للانزلاق أو أجهزة الصوت المجسّم المحيطية. يقترح هذا التمييز بين ما هو ضروري وظيفيًا من السمات وما هو اختياري إمكانية الابتكار المستقبلي وظهور التنوعات فوق المخططات التصميمية الأساسية، وإن كان يفرض قيودًا على مدى التغير الذي يمكن أن تخضع له التصاميم الأساسية. بالتالي يقترح (منطق الأنظمة المصممة بدقّة) النمط التنازلي، الذي نراه في كل من تاريخ المخترعات التقنية[٣٠]، وفي تاريخ الحياة التالي للانفجار الكامبري -قارن الشكلين (18–a٥) و(18–5b)-. من جهة أخرى لن تقودنا النظريات التطورية المادية المنافسة لنتوقع أن يبدي السجل الأحفوري مثل هذا النمط التنازلي، ولكن العكس تمامًا.

الظهور المفاجئ والأسلاف المفقودة

يمكن أن تساعد نظرية التصميم الذكي أيضًا في تفسير الظهور المفاجئ للبنى التشريحية المعقدة والمخططات الجسدية الحيوانية في السجل الأحفوري. ينتج العامل الذكي أحيانًا كينونات مادية من خلال تعديلات تدريجية -كما يقوم النحات بتشكيل منحوتته بمرور الوقت-، في الوقت ذاته تملك العوامل الذكية أيضًا القدرة على إظهار أنظمة تقنية معقدة إلى الوجود مباشرة. غالبًا لا تشابه هذه الأنظمة بأي شيء الأنظمة التقنية السابقة، حيث تُختَرَع دون اتصال مادي بسابقاتها الأكثر بدائية. فحين ظهر اختراع المذياع لم يكن مشابهًا لأي شيء موجود سابقًا، ولا حتى لأشكال تقنيات الاتصال السابقة له، لهذا السبب، رغم أن العوامل الذكية لا تحتاج لتوليد بنى مبتكرة فجأة، فإنها قادرة على فعل ذلك. لذا فإن النشاط العقلي يوفِّر تفسيرًا كافيًا سببيًّا لنمط الظهور المفاجئ في السجل الأحفوري الكامبري.



الشكل (١٨-٥): الشكل (١٨-٥)a: (فوق) نمط ظهور تنازلي يوجد في تاريخ الحياة الحيوانية. الشكل (١٨-٥)b: (تحت) نمط ظهور تنازلي في التقنيات البشرية.

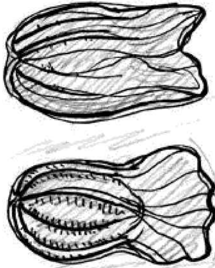
من جهة أخرى، تتصور النظريات التطورية المادية الصارمة بالضرورة نمطًا سببيًّا تصاعديّا، تسبق فيه الأجزاء المادية أو الأشكال التنظيمية الوسيطة المادية ظهور المخططات الجسدية كاملة النماء، لهذا السبب فإن الظهور المفاجئ للأشكال الحيوانية الجديدة يتعارض مع توقعات النظريات المادية التطورية.

لن تتوقع الداروينية الحديثة تحديدًا ظهورًا مفاجئًا للأشكال الحيوانية، إذ كما يصر داروين نفسه بقوله: "لا تعرف الطبيعة القفزات"، لكن العوامل الذكية قادرة على العمل بشكلٍ مفاجئ أو متقطع بما يوافق قدرتها على الاختيار العقلاني أو الإرادة الحرة، حتى إن لم تكن تفعل ذلك دومًا. لذا، فإن الظهور المفاجئ لحيوانات العصر الكامبري يقترح حقًّا احتمالية الفعل الاختياري لعامل واع، أيْ مصمم.

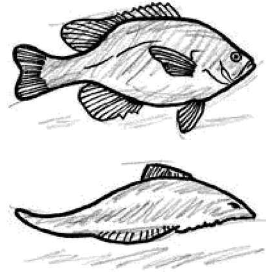
يساعد التصميم الذكي أيضًا في تفسير غياب الأسلاف السابقة، فلو ظهرت المخططات الجسدية نتيجة لوجود كائن ذكي يقوم بتنفيذ خطة أو فكرة غير مادية، عندها فلن يكون هناك حاجة لوجود سلاسل شاملة من الأسلاف المادية للحيوانات الأولى في السجل الأحفوري، تمامًا كما لا نحتاج لأي سلسلة مشابهة في تاريخ التقنيات. لم يتطور الراديو تدريجيًا من التلغراف، فالخطط العقلية أو المبادئ لا تترك خلفها بالضرورة آثارًا مادية. لذا فإنَّ التصميم الذكي قادر على تفسير غياب الأسلاف المادية في الطبقات الصخرية ما قبل الكامبرية، في حين أن النظريات التطورية المادية التي تفترض النمط التصاعدي لا تستطيع إيجاد التفسير لذلك، خصوصًا باعتبار فشل فرضية الأحافير المخادعة التي ناقشناها سلفا.

الثبات أو (الانعزال المورفولوجي المستديم)

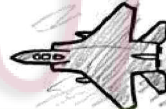
أخيرًا، يفسر التصميم الذكي أيضًا الثبات الملحوظ في السجل الأحفوري، حيث أثبت المدافعون عن التوازن المتقطع أن الأنواع الكامبرية تميل للبقاء على حالها وبشكلها الأساسي نفسه بمرور الوقت، فالمخططات الجسدية الحيوانية التي تحدد التصانيف العليا –تشمل الصنوف والشعب– تبقى ثابتة أيضًا في تصاميمها البنيوية الأساسية، ولا تظهر أي "تغير في اتجاه معين"[٣١] عبر التاريخ الجيولوجي بعد ظهورها الأول في العصر الكامبري، نتيجة لذلك يبقى التباين المورفولوجي بين المخططات الجسدية الحيوانية المتمايزة بلا جسور. أيضًا، كما ذكرنا في الفصل الثالث عشر، فإن الآليات النمائية تحد من المدى الذي ربما تتغير فيه الكائنات الحية دون تأثيرات ضارة.





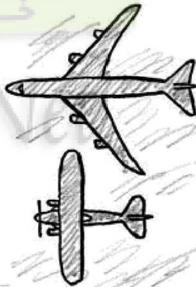














الشكل (١٨-٦): مقارنة للانعزال المورفولوجي المستديم بين شكلين حيوانيين ظهرا لأول مرة في العصر الكامبري والانعزال المورفولوجي المشابه بين نظامين تقنيين.

إن التباين والانعزال المورفولوجي المستديم بين المخططات الجسدية الحيوانية غير متوقع كليًّا بالنظرية الداروينية الحديثة وغيرها من النظريات التطورية التدريجية الأخرى على الأقل. باعتبار مثل هذه التغيرات التطورية، يجب أن يتوقع المنظرون أن يظهر السجل الأحفوري أشكالًا من الحياة تتدرج بدقة من واحد لآخر. والواقع أنه بغياب النسخ المقنعة من فرضية الأحافير المخادعة أو آليات كافية للتغير التطوري المتقطع كبير النطاق فلابد من ملئ كل الفراغات المورفولوجية تقريبًا. يجب على السجل الاحفوري ألا يعرض أشكالًا شبه معزولة ومتباينة شكليًّا من الحياة الحيوانية.

مع ذلك، إن كانت الأنظمة الحية ظهرت حقًا نتيجة للتصميم الذكي، فإن مثل هذا الانعزال المورفولوجي والمستديم بمرور الزمن هو بالضبط ما يجب أن نتوقع رؤيته –تحديدًا لأنه هو ما نراه في تاريخ الأنظمة الأخرى المصممة بذكاء– (الشكل ١٨–٦). تقترح الخبرة في الواقع أن الأشياء المصممة لها تكامل وظيفي يجعل من تعديل بعض أجزائها الأساسية وتنظيمها وبنيتها الأساسية أمرًا صعبًا أو مستحيلا، فرغم استبدال السيارة ذات الطراز A بكل شيء بدءًا من الطراز Yugo وصولًا إلى Honda Accord، إلا أن المخطط الجسدي للسيارة مع العديد من العناصر التنظيمية والبنيوية، أو إحدى هاتين فقط، لا تزال على حالها منذ أول ظهور لها في أواخر القرن التاسع عشر.

من ناحية أخرى، رغم تصميم العديد من التنوعات المبتكرة، إلا أن السيارات احتفظت بتباعدها المورفولوجي أو تباينها البنيوي عن الأجهزة الوظيفية التقنية الأخرى. الحقيقة أن التباين المورفولوجي المستديم في الأنظمة البيولوجية –يظهر كثبات في السجل الأحفوري– يتشابه تمامًا مع التقنيات التي نملكها. في

البيولوجيا ما نعرفه بكونه مخططات جسدية حية مختلفة هي أنظمة تختلف عن بعضها جذريًا في تنظيمها الكلي، فالسلطعون مثلًا ونجم البحر يبديان بعض التشابهات في الأجزاء البروتينية من المستويات الدنيا، لكنهما يختلفان جذريًا في جهازيهما الهضمي والعصبي، وفي التنظيم الكلي لأعضائهما وأجزائهما الجسدية، كذلك يمكن للسيارات والطائرات أن تملك أجزاء متشابهة، حتى عند اختلافها في تركيب أجزائها المميزة والتنظيم الكلي.

إن وجود مثل هذه التباينات البنيوية والانعزال بين الأنظمة المعقدة المتكاملة وظيفيًا، يمثل سمة مميزة أخرى للأنظمة المصممة بذكاء التي نعرفها من عالمنا التقني. فمثلًا، التقنية الأساسية للأقراص الليزرية CD –عند توظيفها في أنظمة الصوتيات والحواسيب– لم تتطور تدريجيًا من تقنيات أقدم كالأقراص الممغنطة –مثل شرائط أو أقراص التخزين الرقمية– أو من أنظمة تماثلية كأقراص الفونوغراف المعتادة حينها. والواقع أنها لا تستطيع ذلك؛ ففي تسجيل تماثلي تُخزّن المعلومات كأخاديد ميكروية ثلاثية الأبعاد في السطح الفينيلي ليتم استشعارها ميكانيكيا بإبرة من الألماس، وهذه الطريقة في تخزين المعلومات واستشعارها تختلف جذريًا –كنظام– عن الوحدات المخزنة للبيانات رقميًا في السطح المفضض للقرص الليزري؛ حيث تُستشعر المعلومات بصريًا، وليس ميكانيكيًا بشعاع ليزري. لقد كان من اللازم أن تُصمم الأقراص الليزرية من العدم، وهي –نتيجة لذلك– تمثل تباينًا بنيويًا صادمًا، وانعزالًا عن الأجهزة التقنية الأخرى، بل حتى عن الأجهزة التي تقوم بنفس الوظيفة تمامًا. رغم أن السمات الجديدة الثانوية ربما تتراكم على بنية التصميم الأساسية، إلا أن هوة وظيفية كبيرة وعميقة تفصل بين الأقراص الليزرية كنظام عن الأنظمة التقنية الأخرى. وقد عبَّر عن ذلك البيولوجي مايكل دنتون

قائلًا: "إن ما يصح في حالة الجمل والساعات ينطبق أيضًا على البرامج الحاسوبية ومحركات الطائرات، بل وكل الأنظمة المعقدة المعروفة. فدائمًا ما تكون الوظيفة محصورة تقريبًا بالتوليفات الفريدة من الأنظمة الفرعية التي من الصعب للغاية أن تحدث بالصدفة، والتي تمثل جزرًا صغيرة من المعاني تائهة في بحار لا متناهية مترامية الأطراف من التفكك".[٣٢] والحقيقة أن تباين مثل هذه البنى أو انعزالها المورفولوجي يشكل علامة فارقة للأنظمة المصممة، أي سمات الأنظمة التي يكون لها نوع واحد معروف من المسببات، ألا وهو المسبب الذكي.

أفعال العقل

أظهرت الدراسات في تاريخ وفلسفة العلم أنه يجب على العلماء لتفسير حدث أو مجموعة من الحقائق أن يذكروا سببًا قادرًا على إنتاج ذلك الحدث أو تلك الحقائق، وعندما لا يملك العلماء ترف الملاحظة المباشرة لمسبّبِ حدثٍ أو تأثير ما –كما هو الحال في العادة مع علماء التأريخ– فإن عليهم أن يذكروا سببًا نعرف من ناحية أخرى أنه قادر على إنتاج الحقائق المذكورة. يعني هذا أن على علماء التأريخ إثبات أن الحدث أو الحقائق المدروسة –بشكل ما– تمثل النتائج المتوقعة لسبب معين كان عاملًا في الماضي –أي أن الحدث أو الحقائق حصلت كشيء طبيعي متوقع–.

بالنسبة للعديد من العلماء –خصوصًا أولئك المنغمسين بالافتراضات المادية للثقافة العلمية المعاصرة– فإن فكرة التصميم الذكي تبدو غير معقولة بحد ذاتها، أو حتى غير متسقة. لا يتضمن العلم وفقًا لهم ملاحظة ودراسة الكيانات والظواهر المادية فقط، إنما يشمل أيضًا تفسير هذه الكيانات والظواهر بإحالتها لكيانات مادية بحتة. وبالنسبة لهؤلاء العلماء، فليس من المنطق بتاتًا اعتبار فكرة التصميم الذكي لإحالتها الواضحة لنشاط عقل مصمم.

لكن يبدو أن أشكال الحيوانات الكامبرية بحد ذاتها ونمطها في الظهور في السجل الأحفوري يبديان تمامًا هذه السمات التي نتوقع رؤيتها إن كان المسبب الذكي هو من قام بإنتاجها.(الشكل ١٨-٧) أضف إلى ذلك أن أشكال الحيوانات الكامبرية وطريقتها في الظهور تتعارض مع ما يجب أن نتوقعه في السجل الأحفوري في عالم الحيوان عند اعتبار العمليات التطورية المادية التصاعدية الصافية. لذا رغم أهميتها في تعكير صفو الإحساس المادي عند العديد من العلماء، إلا أن من الصعب منطقيًّا القبول بأن فرضية التصميم توفر حقًّا تفسيرًا أفضل وأكثر كفاية سببية للسمات الرئيسية للحدث الكامبري.

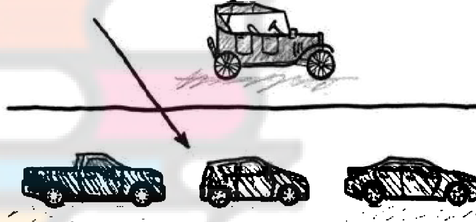
عندما اعترف داروين لأول مرة بمشكلة السجل الأحفوري الكامبري وشكه الصغير -الدائم برغم ذلك- الذي نشأ نتيجة ذلك حول نظريته، لم يرفض خصمه لويس أغاسيس فقط نظريته في التطور، إنما أكَّد على وجود فهم بديل للطبيعة وأصل الحياة الحيوانية، فقد كان نمط التصنيف الحيواني والسجل الأحفوري بالنسبة لأغاسيس يدعمان فكرة أن الأشكال الحية تعبر عن أنماط أساسية -أفكار نشأت في ذهن الذكاء المصمم-، لذا فقد جادل بأن الأحافير الكامبرية تدل عن نشاط العقل.[٣٣]

كما ذكرنا في الفصل الأول، فقد اعترف داروين بنفسه بمعرفة أغاسيس العميقة بعلوم الأحافير وبصلاحية المشكلة التي اعترض بها أغاسيس على نظريته. مع ذلك، فإن توكيده على وجود البديل الإيجابي لنظرية داروين -ألا وهو فرضية التصميم التي بدت حقًّا غير ناضجة في ستينيات القرن الثامن عشر- قد عكس نوعًا من الأحكام المسبقة المنتشرة في ذلك الوقت. لكن بعد مرور قرن ونصف من الزمن، بعد فشل عدة محاولات في اكتشاف وإزالة اللثام عن الأسلاف الأحفورية

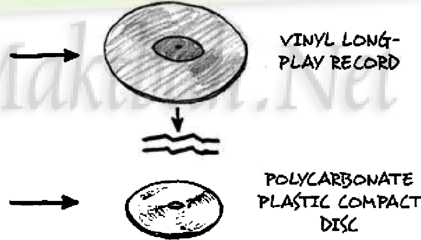
المفقودة، وبعد الاكتشافات في البيولوجيا النمائية والجزيئية التي أشعلت ثورة في فهمنا للتعقيد في الحياة الحيوانية، فإن الاستمرار باعتبار الانفجار الكامبري مشكلة تافهة في نظرية مثبتة -سؤال وحيد أو دليل سلبي- لا يبدو الآن احتياطًا علميًّا بقدر ما يبدو تجاهلًا للأدلة.











الشكل (١٨-٧): تُظهر كل من الأشكال الحيوانية الكامبرية وأنماط الظهور الخاصة بها في السجل الأحفوري سمات مميزة أو علامات فارقة للأنظمة المصممة. وهي السمات التي يجب أن نتوقع رؤيتها حينما يعمل طرف ذكي لإنتاجها.

ظهرت الأشكال الحيوانية التي نشأت في العصر الكامبري دون أي سالفة مادية واضحة، كما أنها صعدت على المسرح كاملة بأنظمة لمعالجة وتخزين المعلومات ذات تنظيم هرمي متعدد المستويات، وبدارات متكاملة مُعبّرٍ عنها حركيًّا ومشفرة رقميًا.

في ضوء هذه الأعاجيب وثبات النمط في السجل الأحفوري، فهل يجب علينا الآن الاستمرار بوصف الانفجار الكامبري مجرد شذوذ كما فعل داروين –الذي لم يكن يعلم شيئًا عنه–؟ أو هل لنا الآن أن نعتبر سمات الحدث الكامبري كدليل يدعم وجهة نظر أخرى حول أصل الحياة الحيوانية؟ وإن كان الأمر كذلك، فهل هناك الآن أي منطق مقنع لأخذ نوع مختلف من التاريخ السببي بعين الاعتبار؟

الإجابة في الحقيقة نعم. تشير سمات الحدث الكامبري في الحقيقة وبشكل قاطع في الاتجاه المعاكس، فهي لا تشير لوجود بعض العمليات المادية التي لما تكتشف بعد، والتي هي مجرد محاكاة لقدرات العقل المصمم، إنما تشير لمسبب ذكي فعلي، وعندما نواجه أشياء تظهر أيًّا من السمات الأساسية الموجودة في حيوانات العصر الكامبري أو نواجه أحداثًا تظهر أنماطًا موجودة في السجل الأحفوري الكامبري، ونعلم كيف ظهرت هذه السمات والأنماط، فإننا نجد دومًا أن التصميم الذكي لعب دورًا سببيًّا في نشوئها، لذا فعندما نواجه هذه السمات نفسها في الحدث الكامبري فربما نستنتج بناءً على العلاقة المثبتة بين السبب والنتيجة وبناءً على مبادئ اتساق الخبرة أن النوع نفسه من المسببات قد عمل في تاريخ الحياة. أي أن التصميم الذكي يشكل التفسير الأنسب والأفضل كفاية سببيّا لنشوء المعلومات والدارات الضرورية لبناء الحيوانات الكامبرية، كما يوفِّرُ التفسير الأنسب لنمط الظهور المتقطع الانفجاري التنازلي لحيوانات العصر الكامبري في السجل الأحفوري.

الفصل التاسع عشر

قواعد العلم

قواعد العلم

تثير أطروحة الفصل السابق سؤالًا واضحًا هو: إذا كانت نظرية التصميم الذكي تقدِّمُ مثل هذا الحل الواضح والمقبول للغز الانفجار الكامبري، فلماذا غاب هذا الأمر عن الكثير من العلماء البارزين؟

بينما أتأمل هذه المسألة، صادفت قصة قصيرة كتبها جي كي تشيسترتون تُسمى (الرجل الخفي)، ربما تلقي بعض الضوء على هذه المسألة. يحكي تشيسترتون في قصته تلك عن شخص قُتل في شقة لها مدخل واحد فقط، هذا المدخل يخضع لرقابة أربعة رجال أُمناء، يُصرُّ هؤلاء الرجال أنه خلال مراقبتهم لم يدخل أو يغادر أحد المبنى، وكان هناك محقق فرنسي لامع يحقق في القضية مع صديقه القس الكاثوليكي المغمور، عندما قاموا باستجواب الحراس أصرَّ كلُّ واحد منهم على عدم دخول أو خروج أحد من المبنى، إلا أن الكاهن ذا المظهر المتواضع –الأب براون– طرح فجأة سؤالًا منسيّا: هل صعد أحد على السلم أو نزل منه بعد بدأ سقوط الثلج؟

أكدوا له قائلين: بالطبع لا.

سأل الأب براون وهو يحدق في الثلج الأبيض على الدرج خارج المدخل: ما هذا إذن؟ فالتفت الجميع ليجدوا آثار أقدام غير واضحة هناك، صرخ أحدهم: يا إلهي! رجل خفي!

بعد طرح بضعة أسئلة أخرى كشف الأب براون النقاب عن اللغز، فقال: عندما قال هؤلاء الرجال الأمناء الأربعة أنه لم يدخل أحد المبنى، فإنهم لم يعنوا

حقًا أنه لم يدخل أحد إليه البتة. وأضاف شارحًا لصديقه المحقق: إنهم يعنون الرجل الذي يمكن أن يشتبهوا في كونه القاتل، رجلٌ دخل إلى البيت وخرج منه، لكنهم لم يلاحظوه.

رجل خفي؟

أوضح القس: رجل خفي بصورة عقلية.

ماذا الذي يبدو عليه الرجل الخفي بالصورة العقلية؟

أوضح القس قائلًا: إنه يرتدي حلة رائعة ذات لون أحمر وأزرق وذهبي، بهذا الزي اللافت للنظر دخل فندق هيمالايا مانجنس –اسم المجمع السكني– تحت أعين الحراس الأربعة، فقتل القتيل بدم بارد، ونزل إلى الشارع مرة أخرى يحمل الجثة... ولا تلاحظوا مثل هذا الرجل بهذه الطريقة.

في تلك اللحظة، توصل إلى ساعي بريد يمر بشكل اعتيادي، وهو الرجل الذي يمر أمامهم دون أن يلاحظه أحد في أغلب الأحوال.

فكَّر الأب براون بصوت عال قائلًا: لا يوجد أحد يلاحظ سعاة البريد بطريقة أو بأخرى، مع ذلك فإن لديهم مشاعر كغيرهم من الرجال، بالإضافة إلى ذلك فإنهم يحملون حقائب كبيرة، حيث يمكنهم وضع جثة صغيرة داخلها بسهولة تامة.[١]

القاتل هو ساعي البريد بالطبع، كان يزرع السلم صعودًا ونزولًا تحت سمع وبصر الرجال الأربعة، لكن بسبب الحجب العقلية التي تحدد من الذي تجب ملاحظته ومن الذي يجب تجاهله، تجاهلوا ساعي البريد تماما. قضيتنا بالمثل تعتبر قصة بوليسية شيقة، قد تغيب الأمور الممكنة الواضحة عن الخبراء، ذلك لأن

الافتراضات التي يضعونها تمنعهم من النظر فيما قد يكون من الأمور الممكنة الواضحة بغياب تلك الافتراضات. هل يمكن وجود شيء من هذا القبيل في مسألة الانفجار الكامبري؟ هل يمكن أن يرتدي علماء البيولوجيا التطورية وعلماء الأحافير مجموعة من الحجب العقلية التي تمنعهم من النظر في تفسير محتمل للغموض الذي يكتنف الانفجار الكامبري؟ يعد هذا شيئًا غريبًا كما قد يبدو، إلا أنه بالضبط ما يحدث في بحث الانفجار الكامبري.

لكن في هذه الحالة، ليس عند أولئك الذين يرتدون الحجب العقلية أية رغبة للنظر في بعض التفسيرات بناء على مبدأ منهجي علمي، يسمى هذا المبدأ (الطبيعية المنهجية) أو المادية المنهجية. يؤكد مبدأ الطبيعية المنهجية أنه لوصف نظرية ما بأنها نظرية علمية، يجب أن نفسر الظواهر والأحداث في الطبيعة –حتى أحداثًا كنشأة الكون وأصل الحياة أو ظواهر كالوعي البشري– بالإحالة إلى أسباب مادية بحتة، ووفقًا لهذا المبدأ، فإنَّ العلماء لا يستشهدون بنشاط عقلي، أو كما أطلق عليه أحد فلاسفة العلوم (الذكاء الخلاق).[٢]

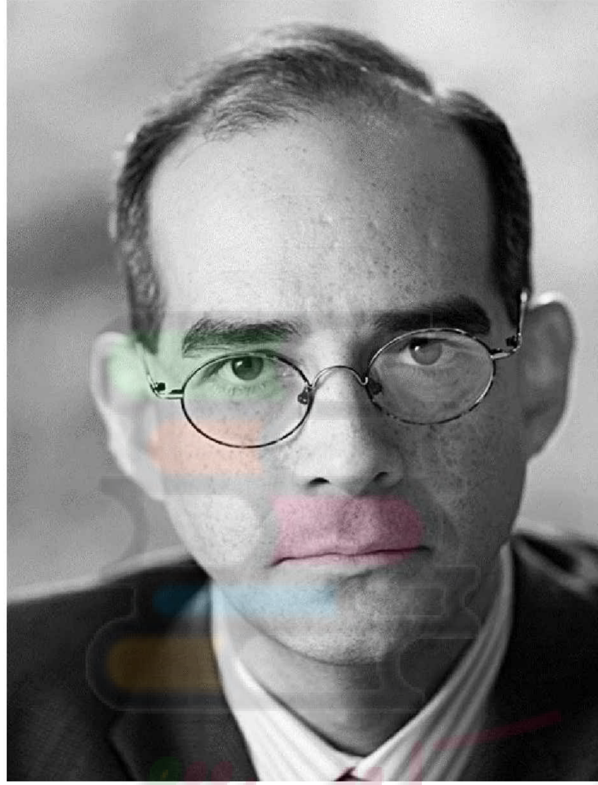
لمعرفة إلى أي مدى منع تمسك العلماء بهذا المبدأ من النظر في تفسيرٍ محتمل الصحة –أو حتى ملائم من الناحية السببية– عن الانفجار الكامبري، دعونا نعيد النظر في القضية الواردة في الفصل ١١ عن ريتشارد شتيرنبرغ (الشكل ١٩–١)، وهو عالم الأحياء التطورية في المتحف السميثسوني الوطني للتاريخ الطبيعي، فبعد أن قام شتيرنبرغ بنشر مقالتي التي أدافع فيها عن التصميم الذكي كأفضل تفسير للانفجار الكامبري المعلوماتي ضمن مقالات المجلة التقنية لمحاضر جمعية علوم الحياة في واشنطن[٣] عانى انتقامًا مهنيًّا على أيدي مديري سميثسونيان[٤]، حيث قامت جمعية علوم الحياة في واشنطن، وهي الهيئة الحاكمة التي تشرف على نشر

الجريدة التي قام شتيرنبرغ بتحرير المقال فيها، بإصدار بيان علني تتبرأ فيه من قراره[٥]، مع ذلك فلم تستشهد في بيانها بأي أخطاء حقيقية في المقالة، فضلًا عن أن تروم دحضها.

علاوة على ذلك، فإن رئيس الجمعية –وهو عالم الحيوان روي ماكديارميد– كتب إلى شتيرنبرغ سرًا، أخبره أنه (ماكديارميد) قد اطلع على الملف الذي يحتوي على تقارير مراجعة الأقران، ووجد كل المسائل ذات حجج متساوية.[٦] إذن، ما الذي فعله شتيرنبرغ ليستحق كل هذا التوبيخ على الملأ؟!

قام شتيرنبرغ بنشر بحث خالف فيه قاعدة علمية مفترضة؛ (الطبيعية المنهجية). وقد جعلت جمعية علوم الحياة هذه القضية قضية حاسمة بصورة واضحة وضوح الشمس دون أن تسهب في ذلك، وعندما نأت بنفسها عن تصرف شتيرنبرغ ومقال المراجعة خاصته لم تدع إلى التفنيد العلمي للمادة العلمية لتُظهر أن المشكلة تحريف أو سوء تفسير للأدلة، لكنها بدلًا من ذلك قامت بتسوية القضية عن طريق إصدار بيان حول سياستها.

ذكرت صحيفة وول ستريت جورنال في ذلك الوقت ما مفاده: "أصدرت جمعية علوم الحياة في واشنطن بيانًا كنسيًّا غامضًا أعربت فيه عن أسف الجمعية لما ورد في المقال. لم تقم الجمعية بتناول حجج المقال، إلا أنها نفت صحته، واستشهدت بقرار من الجمعية الأمريكية لتقدم العلوم، التي حددت أن مصطلح ID (نظرية التصميم الذكي) يعتبر مصطلحًا غير علمي بطبيعته".[٧]



الشكل (١٩-١): ريتشارد ستيرنبرغ. بواسطة لازلو بينكزي.

اعتبرت جمعية علوم الحياة في واشنطن البحث غير مناسب لصفحات مجلة محاضرها.[٨] وحاولت الجمعية تبرير هذا الادِّعاء:

أولًا، لأسباب زعمت أنها إجرائية إلا أنها كانت ضعيفة لا تنهض للمستوى المطلوب؛ مدعية بأن بحثًا يتناول أصل مخططات جسم الحيوان، يمثل "انحرافًا" عن اختصاصها الذي يتعلق أساسًا بقضايا تصنيف الحيوانات.

ثانيًا، وهذا من أكثر الأمور التي تثير التساؤل، أنها استشهدت ببيان السياسة العامة للجمعية الأمريكية لتقدم العلوم (AAAS)، التي تدعوا فيه أعضاءها لـ"فهم

طبيعة العلم"، والاعتراف بـ"عدم ملاءمة" نظرية التصميم الذكي "كموضوع للتعليم العلمي".[٩]

بغض النظر عن النقطة الواضحة، وهي أن بحثي لم يكتب كبيان منهجي، إنما كحجة علمية قائمة على الأدلة، فإن بيان AAAS قد أكَّد على الفهم المادي لطبيعة العلم، وقد فعلتْ ذلك لاستبعاد نظرية التصميم الذكي من الاعتبار، ليس فقط من التعليم العلمي، لكن من العلم نفسه.

قطعت قضية ستيرنبرغ –مثل العديد من القضايا الأخرى التي تم فيها تقييد الحرية الأكاديمية للعلماء المؤيدين لنظرية التصميم الذكي[١٠]– شوطًا طويلًا في إجابة من يسأل عن السبب الذي يدفع هذا العدد الكبير من العلماء النجباء للتغاضي عن مثل هذا الجواب الواضح الممكن للغز الكامبري. وكما في قصة تشيسترتون حول ساعي البريد الخفي، فإنَّ هؤلاء العلماء تقبلوا وجود قيود مفروضة ذاتيًّا على الفرضيات التي يكونون على استعداد للنظر فيها، وهؤلاء العلماء يعتقدون أنَّهم يقومون بواجبهم نحو العلم، بالتالي فإذا رفض الباحثون –كمسألة مبدأية– النظر في نظرية التصميم، فمن الواضح أن أي دليل يمكن أن يدعم هذه النظرية سوف يغيب عنهم، ويعتبر الضغط الثقافي داخل مجال علم البيولوجيا لتجنب النظر في نظرية التصميم الذكي منذ فترة طويلة أمرًا بَدَهيًّا، فعلى سبيل المثال، حثَّ فرانسيس كريك علماء الأحياء على "الحفاظ على اعتبار أن ما يرونه في الأحياء ليس نتيجة التصميم، إنما نتيجة التطور".[١١]

في عام ١٩٩٧، وفي مقال نشر في مراجعات نيويورك على الكتب Review of Books، قام عالم الوراثة في جامعة هارفارد ريتشارد ليونتن بالتصريح

بالتزام مماثل بالتفسير المادي البحت بغض النظر عن الدليل الذي يمكن أن يشير إلى ذلك، حيث شرح في كثير من الأحيان المقولة التالية:

"يجب أن نأخذ جانب العلم رغم عدم منطقية بعض تركيباته، رغم إخفاقه في الوفاء بالعديد من وعوده المبالغ فيها، والتي تتعلق بالصحة والحياة، ورغم أن التسامح في المجتمع العلمي مجرد قصص تُحكى لا أساس لها ولا دليل عليها؛ ذلك لأن لدينا التزام مسبق، هو الالتزام بالمادية. إن الأمر ليس بأن تجبرنا بعض الطرق والمؤسسات العلمية بطريقة أو بأخرى على قبول التفسير المادي للمحسوسات، لكننا على العكس من ذلك مضطرون من خلال الالتزام البدهي بالأسباب المادية لوضع أدوات للتحقيق ومجموعة من المفاهيم التي تقدم تفسيرات مادية مهما كانت غير بدهية أو محيرة لغير المختصين. علاوة على ذلك، فإن هذه المادية مطلقة، ولا يمكننا أن نسمح بوجود آثار إلهية في هذا الصدد".[١٢]

إن الالتزام بالطبيعية المنهجية الذي يصفه ليونتن، وكذلك سلوك العلماء في حالات مثل شتيرنبرغ، لا يترك مجالًا للشك أن علماء كثر لن ينظروا في نظرية التصميم كتفسير للانفجار الكامبري أو أي حدث آخر في تاريخ الحياة مهما كانت الأدلة، وسيكون القيام بذلك انتهاكًا لـ "قواعد العلم" كما زعموا.

لكن هل هذا هو العلم؟

هل هؤلاء العلماء على صواب؟ قد يكون من المفترض أن يقتصر العلم على تفسيرات طبيعية أو مادية بحتة، لكن إذا كان الأمر كذلك، فهل هنالك أسباب وجيهة لاستبعاد نظرية التصميم من الاعتبار كنظرية علمية؟ هل تعتبر الطبيعية المنهجية هي السياسة الصحيحة للعلم؟

على الرغم من تأكيد العلماء بشكلٍ مستمر على المذهب الطبيعي المنهجي كقاعدة علمية، إلا أنه من الصعب تبرير هذا المبدأ واستبعاده لنظرية التصميم، إذ يتطلب ادِّعاء إسقاط السمة العلمية عن نظرية معينة تعريفًا للعلم أو مجموعة من المعايير التعريفية التي يتم بموجبها اتخاذ قرار من هذا النوع.

وقد أكَّد بعض الفلاسفة والعلماء أنه لتوصف نظرية ما على أنها نظرية علمية فإن عليها أن تستوفي معايير مختلفة: قابلية الاختبار، وقابلية الدحض، وقابلية الملاحظة، وقابلية التكرار، وما شابه ذلك. ويطلق فلاسفة العلم على هذه الأمور اسم (معايير الترسيم)، لأن بعض العلماء يجنحون إلى استخدامها لتعريف أو ترسيم العلم وتمييزه عن العلم الزائف، أو عن غيره من حقول البحث الأخرى مثل التاريخ أو الدين أو الميتافيزيقا.[١٣]

المشكلة العامة للترسيم

إنَّ قضية الترسيم قضية محيرة، فمن الناحية التاريخية كان العلماء وفلاسفة العلم يعتقدون إمكانية تمييز العلم من خلال أسلوب دراسته الشاق، لكن ثبت فيما بعد أن محاولات تعريف العلم بالرجوع إلى طريقة مميزة تنطوي على إشكاليات صعبة الحل، ذلك لوجود فروع وأنواع مختلفة من العلوم تستخدم أساليب مختلفة.

على سبيل المثال، تقوم بعض التخصصات العلمية بتمييز وتصنيف الكائنات الطبيعية، بينما يحاول البعض الآخر صياغة القوانين الشاملة التي تنطبق على جميع الكائنات، وتجري بعض التخصصات تجارب معملية تحت ظروف خاضعة للتحكم والتكرار، بينما يحاول البعض الآخر إعادة بناء أو تفسير الظواهر المفردة التي وقعت في الماضي، وهذه غالبًا ما تقوم على دراسات ميدانية للأدلة أو القرائن بدلًا

من التجارب المعملية. تنتج بعض التخصصات أوصافًا رياضية للظواهر الطبيعية دون افتراض آلياتٍ لشرحها، في حين تبحث بعض التخصصات الأخرى عن الآليات أو تفسر اطراد القوانين المتشابهة بالرجوع إلى الآليات الكامنة وراءها. بعض التخصصات العلمية تقوم بعمل تنبؤات لاختبار النظريات، في حين تقوم بعض التخصصات الأخرى باختبار النظريات المتعارضة من خلال مقارنة قوتها التفسيرية.

تستخدم بعض التخصصات هذان الأسلوبان معًا، في حين أن بعض التخرصات –لا سيما في الفيزياء النظرية– قد لا تكون قابلة للاختبار على الإطلاق، وعلى هذا تسير الامور.

توضح بعض الأحداث في تاريخ العلم هذه المشكلة، فخلال القرن السابع عشر، أصرَّت مجموعة من العلماء تسمى (الفلاسفة الميكانيكيين) –معتمدين إلى حد كبير على التقدم الحاصل في الكيمياء الباكرة– على أن النظريات العلمية يجب أن تقدم تفسيرات توضح الآليات، وكان يجب على مثل هذه التفسيرات أن تنطوي على إشراك جهة مادية واحدة تدفع أو تسحب أخرى. لكن في الفيزياء، قام إسحاق نيوتن (١٦٤٢–١٧٢٧) بصياغة نظرية هامة لم تنطوي على أي تفسير للآليات، إذ تصف نظريته عن الجاذبية الكونية وصفًا رياضيًّا غير ميكانيكي لقوة الجاذبية بين أجسام الكواكب المفصولة عن بعضها البعض بمسافات بينية خالية من أي وسيلة للتآثر الميكانيكي على الإطلاق.[١٤]

على الرغم من التحريضات التي صدرت من عالم الرياضيات الألماني غوتفريد فيلهلم لايبنتز (١٦٤٦–١٧١٦)، الذي دافع عن المثل الميكانيكي الأعلى، لكن نيوتن رفض بشكلٍ صريح تقديم أي تفسير أو صورة ميكانيكية أو غير ذلك للغز "التفاعل عن بعد" الذي تناولته نظريته.[١٥]

هل نتج عن ذلك وصف نظرية نيوتن بأنها غير علمية؟ بالمعنى الدقيق للكلمة، فإنَّ الجواب يعتمد على تعريف العلم الذي يقوم الشخص بتطبيقه. اليوم، لا يكاد المرء يجد أي شخص ينكر أن نظرية نيوتن الشهيرة نظرية علمية، مع ذلك يمكننا بسهولة أن نجد من العلماء من لا يزال على استعداد للقول بأن النظريات العلمية يجب أن تشرح الآليات، فضلًا عن غيرهم الذين يرفضون ذلك بنفس القدر. هذه هي المشكلة، إذا لم يكن لدى العلماء وفلاسفة العلم تعريف متفق عليه للعلم، فكيف يمكنهم أن يحسموا مسألة النظريات العلمية والنظريات غير العلمية؟! وإذا افتقر العلماء إلى مثل هذا التعريف، فإنه من الصعب القول بأن أيّة نظرية معينة هي نظرية غير علمية من حيث التعريف.

لهذا السبب، فإن فلاسفة العلم –وهم العلماء الذين يدرسون طبيعة وتعريف العلم– على مستوى العالم في هذه الأيام يرفضون استخدام حجج الترسيم لتحديد صحة نظريات أو إنهاء المنافسة بينها[١٦]، ويعتبرون –بشكل متزايد– الترسيم على أنه مسألة دلالية فقط: هل النظرية الفلانية علمية أو لا؟ الجواب: هذا يعتمد على التعريف المستخدم للعلم للإجابة عن السؤال.

علاوة على ذلك، فقد حاول الفيلسوف لاري لودان في مقاله التأسيسي (زوال مشكلة الترسيم) تطبيق معايير الترسيم لتحديد المكانة العلمية لنظريات محددة قد ولّدت دائمًا تناقضات لا يمكن التوفيق بينها.[١٧]

اعتبرت نظرية دوامة الجاذبية –التي حلت محلها نظرية نيوتن– أن الكواكب المرئية تدور حول الشمس مدفوعة بواسطة مادة تسمى الأثير[١٨]، وقد قدمت النظرية تفسيرًا ميكانيكيًّا للجاذبية، لكنها فشلت في شرح الأدلة، فحكم عليها

نيوتن ومن تبعه من الفيزيائيين بأنها محض هراء واضح. بغض النظر عما سبق، فحيث إنها قدمت تفسيرًا ميكانيكيًّا للجاذبية، فقد وُصفت بكونها نظرية "علمية" حسب مفهوم العلم الذي يفضله ليبنتز والفلاسفة الميكانيكيون على الأقل.[١٩]

في المقابل، ومن خلال تعريفهم، فإن نظرية نيوتن تعدُّ نظرية غير علمية، على الرغم من أن أدلتها أكثر صحة ودقَّة بكثير من نظرية الدوامة. وقد اكتنفت هذه التناقضات مشروع الترسيم بأكمله منذ فترة طويلة، فالنظريات التي وصمها العلماء بالخطأ لعدم قدرتها على شرح أو وصف الأدلة غالبًا ما تكون مستوفية لنفس المعايير أو الميزات المنهجية –قابلية الاختبار، قابلية الدحض، قابلية التكرار، قابلية الملاحظة، وغيرها– التي زعموا أنها تميز العلم الحقيقي. على الجانب الآخر نجد أن العديد من النظريات المرموقة للغاية تفتقر غالبًا إلى الميزات الضرورية للعلم الحقيقي.

وهكذا، فإن فلاسفة العلم يعتقدون بشكل عام أن تقييم صحة نظرية ما من عدمه، سواء كانت مدعومة بالأدلة أم لا، هو أمر أكثر أهمية من تصنيفها على أنها "نظرية علمية" أو لا، فمسألة ما إذا كانت النظرية "علمية" أو لا هي في الحقيقة مسألة يراد بها صرف الانتباه عن المسائل الجوهرية، لكن ما نريد حقًّا معرفته هو ما إذا كانت النظرية صحيحة أو خطأ، وما إذا كانت مؤيدة بالأدلة أو لا، وهل تستحق أن نؤمن بها أو لا.. لا يمكننا الإجابة عن هذه الأسئلة من خلال تطبيق مجموعة من المعايير المجردة التي تصف مقدمًا ما الذي يجب أن تكون عليه جميع النظريات العلمية الجيدة.[٢٠]

(تعريف ونفي).. حجج الترسيم ضد نظرية التصميم الذكي

لم يمنع رفض حجج الترسيم من قبل فلاسفة العلم محاولة منتقدي نظرية التصميم الذكي تسوية الخلافات حول الأصول البيولوجية من خلال صياغة مثل هذه الحجج ضد نظرية التصميم الذكي بصورة مناسبة، وقد استخدم البعض هذه الحجج لتبرير الطبيعية المنهجية –التي لها نفس التأثير–.

يقول المدافعون عن الطبيعية المنهجية إن نظرية التصميم الذكي غير علمية من الأساس، وذلك للأسباب التالية:

(أ) نظرية غير قابلة للاختبار.[٢١]
(ب) نظرية غير قابلة للدحض.[٢٢]
(ج) لا تقدم تنبؤات.[٢٣]
(د) لا تصف الظواهر التكرارية.
(هـ) لا تفسر بموجب القانون الطبيعي.[٢٤]
(و) لا تقدم تفسيرًا ميكانيكيًا.[٢٥]
(ز) لا تقدم ادعاءات تجريبية مؤقتة.[٢٦]
(ح) ليس لديها القدرة على حل المشكلات.[27]
(ط) تشير إلى شيء غير قابل للرصد.[٢٨]

يفترض هؤلاء النقاد أيضًا –أو يؤكدون– أن النظريات التطورية الماديّة تفي حقًا بالمعايير الصحيحة للمنهج العلمي.

وقد يرغب القراء في مراجعة كتاب (التوقيع في الخلية) للحصول على رد أكثر تفصيلًا على هذه الحجج، حيث قمت هناك بإيضاح أن العديد من هذه

المزاعم هي مزاعم خطأ. على سبيل المثال، على خلاف مزاعم منتقدي نظرية التصميم الذكي، فهي فرضية قابلة للاختبار، وتقدم التنبؤات، بل تقدم ادعاءاتها التجريبية بصياغة مناسبة، ولديها القدرة على حل المشاكل العلمية. لكن بينت أيضًا أنه عندما تكون مزاعم أصحاب حجج الترسيم صحيحة –بأن نظرية التصميم الذكي لا تفي بمعيار محدد– فإن هذا لا يعد سببًا وجيهًا لاستبعاد نظرية التصميم الذكي من الاعتبار كنظرية علمية. لماذا؟ لأن النظريات التطورية المادية، التي تعارضها نظرية التصميم الذكي، والتي تعتبر على نطاق واسع بأنها نظريات "علمية"، لا تفي بنفس معايير الترسيم.

بعبارة أخرى، ليس هناك تعريف للعلم يمكن الدفاع عنه، وليس هناك معيار محدد للترسيم من شأنه أن يبرر استثناء نظرية التصميم الذكي من أن تتصف بالعلمية، ووصف النظريات المادية المعارضة لها به. بدلًا من ذلك فإن محاولات استخدام معايير الترسيم خصيصًا لتنحية نظرية التصميم الذكي عن كونها نظرية علمية قد فشلت مرارًا وتكرارًا في تمييز الصفة العلمية للنظريات المعارضة. واعتمادًا على المعايير المستخدمة لتقييم الصفة العلمية الخاصة بهم، وشريطة اختيار معايير محايدة لإجراء مثل هذه التقييمات، فإن نظرية التصميم الذكي ونظريات الأصول المادية دائمًا ما تثبت أنها على قدم المساواة من ناحية الوسم بالصفة العلمية أو غير العلمية.

على سبيل المثال، يقول بعض نقاد نظرية التصميم الذكي أنها أخفقت في أن تكون مؤهلة لوصفها بالنظرية العلمية، لأنها تشير إلى جهة غير مرئية أو غير قابلة للرصد، وتحديدًا، إلى عقل مصمم في الماضي السحيق. مع ذلك، فهناك العديد من النظريات المقبولة –وهي نظريات يفترض أن تكون علمية– تفترض أحداثًا

وأشخاصًا لا يمكن إخضاعهم للرصد، وهناك أيضًا علماء الفيزياء الذين يفترضون القوى والحقول وجسيمات الكوارك، كذلك يستنتج علماء الكيمياء الحيوية الهياكل دون المجهرية. ويناقش علماء النفس الحالة العقلية لمرضاهم، حتى علماء الأحياء التطورية أنفسهم يستنتجون الطفرات الماضية غير الملحوظة ويتذرعون بوجود الكائنات المنقرضة والأشكال الانتقالية التي لم تبق لها أي حفريات، مثل هذه الأشياء التي تشبه تصرفات مصمم ذكي يمكن الاستدلال عليها من خلال أدلة يمكن ملاحظتها في الوقت الحاضر، وذلك بسبب القوة التفسيرية التي تقدمها.

فإذا تم تطبيق معيار ترسيم قابلية الملاحظة بشكل صارم، فسيكون من الخطأ وسم كل من نظرية التصميم الذكي والنظريات المادية التطورية بصفة "العلمية". وإذا تمَّ تطبيق المعيار بشكلٍ غير حرفي أو بصورة أكثر واقعية -من خلال الإقرار بالطريقة التي استخدمتها النظريات العلمية التاريخية في كثير من الأحيان في استنتاج أحداث أو أسباب أو أشخاص لا يمكن ملاحظتها في الماضي- فإن كل هذه النظريات تكون مؤهلة ليتم وسمها بالنظريات "العلمية". هكذا تسير الأمور مع معايير أخرى من هذا القبيل أيضًا، لا توجد معايير ترسيم محددة يمكنها إظهار عدم أهلية نظرية التصميم الذكي لاعتبارها نظرية علمية دون أن تظهر في نفس الوقت عدم أهلية اعتبار الصفة العلمية للنظريات المادية المنافسة.

الأسباب التي يقوم عليها اعتبار نظرية التصميم الذكي نظرية علمية

لا تستطع حجج الترسيم تبرير استبعاد نظرية التصميم الذكي من حيز النظريات العلمية، علاوة على ذلك فقد اتضح أن هناك بعض الأسباب الجيدة

لاعتبار نظرية التصميم الذكي كنظرية علمية. على سبيل المثال، يعتبر العديد من العلماء وفلاسفة العلم قابلية الاختبار سمة هامة للبحث العلمي، ونظرية التصميم الذكي لديها القابلية للاختبار في ثلاث طرق محددة ومترابطة.

أولًا، مثل النظريات العلمية الأخرى المعنية بشرح أحداث في الماضي السحيق، فإنَّ نظرية التصميم الذكي قابلة للاختبار من خلال مقارنة قوتها التفسيرية بالقوة التفسيرية للنظريات المعارضة.

ثانيًا، يتم اختبار نظرية التصميم الذكي، مثل النظريات العلمية التاريخية الأخرى، من حيث معرفتنا ببنية السبب والنتيجة للكون. فكما ناقشنا سابقًا، النظريات العلمية التاريخية تقدِّمُ تفسيرات ملائمة عندما تذكر الأسباب المعروفة للقضايا التي تتناولها أو "الأسباب المعمول بها والمطبقة حاليًا".[٢٩] لذلك يمكن اختبار معقولية النظريات العلمية التاريخية بما في ذلك نظرية التصميم الذكي بالرجوع إلى المعرفة المستقلة بعلاقات السبب والنتيجة.

ثالثًا، على الرغم من عدم إمكانية اختبار النظريات العلمية التاريخية عادة تحت ظروف المختبر التي تكون تحت السيطرة، إلا أنها تقدم –أحيانًا– تنبؤات تمكن العلماء من مقارنة صلاحية هذه النظريات بعضها ببعض.

قد قدمت نظرية التصميم الذكي عددًا من التنبؤات التجريبية المحددة التي تميزها عن النظريات التطورية المعارضة، والتي تعمل على تأكيد امتياز وصلاحية نظرية التصميم الذكي على النظريات المعارضة. في كتاب (التوقيع في الخلية) قمت بتوضيح عشر أمثلة لهذه التنبؤات التي قدمتها نظرية التصميم الذكي.[٣٠]

هناك سبب مقنع آخر لاعتبار نظرية التصميم الذكي نظرية علمية، هو اعتماد الاستدلال في نظرية التصميم الذكي على نفس طريقة الاستدلال العلمي التاريخي ونفس مبادئ التماثل uniformitarian principles التي استخدمها تشارلز داروين في (أصل الأنواع)، فالتشابه في البنية المنطقية كبير جدًا، وقد تمَّت صياغة حجج التصميم الذكي والحجج الداروينية عن النشوء والارتقاء على أنها استدلالات من المنطق التناظري نحو التفسير الأنسب. تتناول كل من النظريتين المسائل التاريخية بشكل مميز، وتقومان باستخدام النماذج التاريخية للشرح والاختبار بصورة نموذجية، وكلاهما له آثاره الميتافيزيقية. فمن المفترض أنه بقدر ما نعتبر نظرية داروين نظرية علمية، فإن من المناسب أن نشير إلى نظرية التصميم الذكي على أنها نظرية علمية أيضًا.

في الواقع، كما أكَّد بعض النقاد، فإنَّ نظريتي (الداروينية الجديدة) و(التصميم الذكي) هما نوع متشابه من البحث العلمي، فكلاهما إجابتان مختلفتان تستخدمان المنطق نفسه وطريقة الاستدلال ذاتها للسؤال نفسه: "ما الذي سبّب نشوء النماذج البيولوجية وظهور التصميم في تاريخ الحياة؟" لذلك فمن المنطقي عند اعتبارنا إحداهما -الداروينية الجديدة أو التصميم الذكي- نظرية علمية أن نعتبر النظرية الأخرى كذلك، وبالطبع فإن كون إحدى النظريتين صحيحة أو لا هو مسألة أخرى، فقد تكون الفكرة علمية لكنها غير صحيحة، وعلى هذا المنوال ثبت أن العديد من النظريات كذلك على مدار تاريخ العلم. يمكن أن تكون نظرية دوامة الجاذبية التي أشرت إليها في وقت سابق هي إحدى الصور الإيضاحية التي لا تعد ولا تحصى حول هذا الأمر.

أوصي القراء الذين يرغبون في النظر في ردود أكثر تفصيلًا حول ما إذا كانت نظرية التصميم الذكي نظرية علمية بقراءة الفصلين (١٨ و١٩) من كتاب التوقيع في الخلية[٣١]، حيث قمت فيه بالرد التفصيلي على الاعتراضات الفلسفية الأخرى التي طرحت على قضية التصميم الذكي، وشمل ذلك اعتراضات مثل: (أ) التصميم الذكي أمر ديني، وليس أمرًا علميًا.[٣٢] (ب) قضية التصميم الذكي ترتكز على تفكير قياسي معيب. (ج) التصميم الذكي حجة واهية ومغالطة احتجاج بالجهل، وهي التي تسمى أحيانًا (إله الفجوات). (د) التصميم الذكي أحد عوامل إعاقة العلم. (هـ) القفشة الشهيرة، التي اشتهرت بواسطة ريتشارد دوكينز، التي تسأل "من قام بتصميم المصمم؟"[٣٣]، وغيرها الكثير.

اعتراض جديد على المكانة العلمية لنظرية التصميم الذكي

منذ نشر كتاب (التوقيع في الخلية) قدّم روبرت آشر –عالم الأحافير بجامعة كامبردج– سببًا آخر للاعتراض على توصيفي لنظرية التصميم الذكي كنظرية علمية، حيث عارض في كتابه (التطور والمعتقد) ادعائي باستخدام نفس مبدأ التماثل الخاص ب(ليل) و(داروين) لتقديم التصميم الذكي، وحيث إن اعتراضه جديد وقد نشر في عام ٢٠١٢ فقط بواسطة مطبعة جامعة كامبريدج، فإنه يستحق المناقشة.

وصف آشر رأيي على النحو التالي: "إن العمليات التي نعرفها ونلاحظها اليوم هي ذات صلة بشرح ظواهر الماضي، ونحن نعرف أن الأشياء المعقدة التي نراها اليوم على وجه الخصوص يقف وراءها عقل"[٣٤]، ويشير إلى أنني أزعم أن التقنيات المعقدة –مثل برامج الكمبيوتر– مصدرها واحد فقط "هو الإبداع

البشري"[35]، ويترتب على ذلك وفقًا لإعادة صياغة آشر لحجتي "وجود جهاز معقد مشابه في الماضي الجيولوجي يجب أن يكون نشأ أيضًا نتيجة لشيء مشابه لإبداع الإنسان، أي العقل".[36]

لا يبدو أن آشر قد فهم أهمية المعلومات المحددة والنوعية –وليس مجرد وجود الأشياء المعقدة– كمؤشر رئيسي على التصميم، بقطع النظر عن ادعائه إدراك دور مبادئ التماثل التي استخدمتها للاستدلال في حجتي عن نظرية التصميم الذكي، لكن على الرغم من هذا فقد أنكر آشر في مواضع أخرى أنني استخدمت مبدأ التماثل في الاستدلال، لماذا؟ وفقًا لآشر فإن الاستدلال على التصميم الذكي هو في الحقيقة "ضد مبدأ التماثل"؛ لأنه لا يقدم "تفسيرًا ميكانيكيًا". كما يقول: "من خلال محاولة استبدال الآلية السببية (الانتخاب الطبيعي) بالعزو إلى فاعل (التصميم)، فإن المدافعين عن نظرية التصميم الذكي مثل (ماير) هم بالتأكيد ضد مبدأ التماثل. هل ما عليه عمليات اليوم يمكن أن تؤدي إلى فهم للماضي".[37]

يبدو الجواب على سؤال آشر واضحًا جدًا: إنه العقل، النشاط الواعي، الاختيار المتعمد لفاعل عاقل. لدينا في الواقع تجارب وفيرة في الوقت الحاضر حول الفاعلين العقلاء الذين يقدِّمون معلومات محددة نوعية.

توفِّرُ تجربتنا حول القوى السببية للفاعلين العقلاء –النشاط الواعي على أنه سبب معمول به في الوقت الحاضر– أساسًا لعمل استدلالات حول أفضل تفسير لمصدر المعلومات البيولوجية في الماضي. بعبارة أخرى، فإن تجربتنا لبنية السبب والنتيجة في العالم –تحديدًا السبب المعروف على وجه التحديد لتقديم كميات كبيرة من المعلومات المحددة في الوقت الحاضر– توفر أساسًا لفهم سبب

الزيادات الكبيرة في المعلومات المحددة للأنظمة الحية في الماضي، وهذا هو بالضبط اعتمادي على مثل هذه التجربة التي توفر فهمًا محتملًا لنوع الأسباب العاملة في تاريخ الحياة، كما أنه يجعل حجتي بطبيعتها متسقة مع مبدأ التماثل ولا تعارضه كما يدعي آشر. يخلط آشر بين ضرورة التماثل في التفسيرات العلمية التاريخية -الحاجة إلى الاستشهاد بسبب معروف أو كاف في الوقت الحاضر- وطلب الاستشهاد بسبب مادي أو تفسير ميكانيكي.

إن نظرية التصميم الذكي تستشهد بسبب، لكنها لا تستشهد بالضرورة بسبب ميكانيكي أو مادي، وقد يتصور أنصار نظرية التصميم الذكي العقل كظاهرة مادية بحتة، شيء ما يمكن اختزاله في الكيمياء العصبية للمخ، لكنهم قد يصورروه أيضًا كجزء من حقيقة عقلية غير قابلة للاختزال إلى كيمياء الدماغ أو أي عملية فيزيائية أخرى. يمكنهم أيضًا أن يفهموا ويعرفوا العقل بالرجوع إلى تجربتهم المتعمقة الخاصة حول الوعي العقلاني وعدم اتخاذ أي موقف معين بشأن مسألة العقل والدماغ.

يفترض آشر أن نظرية التصميم الذكي تنكر الأهمية المادية أو "الفيزيقية" للعقل -في الواقع أنا شخصيًا أفعل ذلك- ويرفض كونها علمية على هذا الأساس، لكنه لا يقدم أي سبب يؤدي لاتخاذ ذلك القرار، إذ إنه يعجز عن القول بأن مبدأ الطبيعية المنهجية في حد ذاته يتطلب أن تتسلح جميع النظريات العلمية بأسباب ميكانيكية فقط، لأن مبدأ الطبيعية المنهجية نفسه بحاجة لمبرر، والتأكيد على أن "كل النظريات العلمية يجب أن تقدم تفسيرات ميكانيكية" هو مجرد إعادة تأكيد على مبدأ الطبيعية المنهجية بكلمات مختلفة. في الواقع، إن القول بأن كل التفسيرات العلمية يجب أن تقدم تفسيرات ميكانيكية يعادل القول بأن هذه

النظريات يجب أن تستشهد بأسباب مادية، وهو ما يؤكد على وجه التحديد مبدأ الطبيعية المنهجية. يبدو أن آشر يفترض دون مبرر أن جميع الأسباب المقبولة علميًّا هي تلك الأسباب الميكانيكية أو المادية، بالتالي فإن حجته تفترض نقطة رئيسية في القضية، وهي ما إذا كانت هناك أسبابًا مستقلة –محايدة من الناحية الغيبية– تفرض على النظريات العلمية التاريخية الاستشهاد بأسباب مادية في تفسيراتها، بدلًا من التفسيرات التي ربما تعتمد على أشياء غير مادية، مثل الذكاء الخلاق أو العقل أو فعل العقل أو التصميم الذكي.

على أية حال، فهو يخلط بين الشرط المنطقي للاستشهاد بأسباب حقيقية، سبب حقيقي أو معروف، والشرط التعسفي للاستشهاد بأسباب مادية فقط.

يخلط آشر بذلك بين مبدأ التماثل ومبدأ الطبيعية المنهجية.[٣٨] ثم بعد ذلك ينتقد حجتي حول نظرية التصميم لأنها تعارض الشرط الأول، بينما هي في الحقيقة تعارض الشرط الأخير فقط. في إطار القيام بذلك، افترض آشر شرطًا إضافيًّا حول تفسيرات الأحداث السابقة، أدى به إلى تخطئة حجتي بأنها ضد مبدأ التماثل، وإلى عدم فهم الدليل على التصميم الذكي، حيث أدى به التزامه الضمني بالطبيعية المنهجية إلى غياب الدليل على نظرية التصميم الذكي –مثل ساعي البريد في قصتنا– عقليًّا عنه. مع ذلك فإن الهاجس الذي يثيره حول نظرية التصميم الذكي في عدم استشهادها بتفسير مادي لا يزال يولد قلقًا عند الناس. تُطرح علي في الواقع –كثيرا– أسئلة حول هذه المسألة، حيث سيسأل الناس شيئًا من هذا القبيل: أستطيع أن أدرك وجهة نظرك حول الشفرة الرقمية التي تقدم الدليل على نظرية التصميم الذكي، لكن كيف قام هذا العقل المصمم بإنشاء تلك المعلومات أو

ترتيب مادة الأجسام لتشكيل الخلايا أو الحيوانات؟ أو: كيف قام المصمم الذكي الذي تستدل به بالتأثير بأفكاره على المادة لتشكيل الحيوانات؟

كما يقول آشر "كيف يمكن لظاهرة بيولوجية، حتى لو كانت مصممة، أن تكون فقط تحت تأثير إرادة الحدوث في حيز الوجود دون وجود تفسير ميكانيكي فعلي".[٣٩] لإيضاح الأمور يلزم النظر في عدة نقاط:

أولًا، لا تقدم نظرية التصميم الذكي تفسيرًا ميكانيكيًّا لمصدر المعلومات البيولوجية، ولا تحاول ذلك، بل إنها تقدم تفسيرًا سببيًّا بديلًا، ينطوي على سبب عقلي –ليس بالضرورة أو الحصر أن يكون ماديّا– لأصل هذه الحقيقة، فهي تعزو مصدر المعلومات في الكائنات الحية إلى التفكير والنشاط العقلاني للعقل، وليس إلى عملية مادية بحتة أو تفسير ميكانيكي، مما لا يجعلها في حاجة إلى شرح مادي أو تفسير ميكانيكي، فهي تستخدم نوعًا بديلًا من التفسير. ولا يفترض أنصار نظرية التصميم الذكي أسبابًا ذكية؛ لأنهم لا يستطيعون التفكير في شرح ميكانيكي ممكن للأصل أو المعلومات، بل يفترضون التصميم الذكي لأنهم يعتقدون أنه يقدم تفسيرًا أفضل وأكثر ملاءمة من الناحية السببية لهذه الحقائق.

بالنظر إلى ما نعرفه من خلال التجربة حول مصدر المعلومات، فإن التفسيرات المادية هي التي تكون غير كافية، فهناك سياق مختلف يمكن أن يرغب أحدهم فيه بالسؤال عن التفسير الميكانيكي، وقد يرغب هو أو هي أن يعرف الوسيلة التي نُقلت المعلومات من خلالها إلى عالم المادة.

من خلال تجربتنا، فإن العقول الذكية غالبًا ما تستخدم الوسائل المادية لنقل تلك المعلومات بعد إنشائها. قد يقوم المعلم بالكتابة على السبورة بقطعة من

الطباشير، أو قد يقوم الكاتب القديم بالحفر على قطعة من الصخر باستخدام معدن. في كثير من الأحيان، نجد أولئك الذين يريدون أن يعرفوا عن التفسير الميكانيكي لنظرية التصميم الذكي لا يعارضون بالضرورة فكرة أن المعلومات تنبع في نهاية المطاف من الفكر، بل إن ما يريدونه هو أن يعرفوا كيف تمَّ هذا الأمر، أو ما هي الوسائل المادية التي استخدمها الفاعل الذكي المسؤول عن المعلومات في الأنظمة الحية في نقل هذه المعلومات إلى كيان مادي مثل حبل الحمض النووي، وباستخدام مصطلح فلسفي، إنهم يريدون معرفة (العلة الفاعلة) في العمل.

والجواب: هو أننا ببساطة لا نعرف. ليس لدينا أدلة أو معلومات كافية حول ما حدث في الانفجار الكامبري أو غيره من الأحداث في تاريخ الحياة للرد بشكلٍ كاف على أسئلة حول ما حدث بالضبط، ذلك على الرغم من تمكننا من خلال القرائن التي خلفها المصمم الذكي بأنه قد لعب الدور السببي في أصل النماذج الحية. ويساعدنا على تفسير كيفية إمكانية حدوث ذلك هذا المثال المستقى من علوم الآثار (الشكل ١٩-٢). قبل سنوات، وجد مستكشفون لجزيرة نائية في جنوب غرب المحيط الهادئ مجموعة من الأشكال الحجرية الكبيرة، كانت الأشكال المعروضة عبارة عن وجوه بشرية، ولا شك أن هذه الأشكال ترجع أصولها النهائية إلى الفكر، مع ذلك، لا يزال علماء الآثار يجهلون الوسائل التي استخدمت في نحت هذه الأشكال أو تشييدها، إذ ربما استخدم نحاتو الرؤوس القدماء مطارق معدنية أو أزاميل صخرية أو ليزر لهذا الأمر. على الرغم من أن علماء الآثار يفتقرون إلى الأدلة التي تستطيع أن تقرر الفرضية الصحيحة بين هذه الفرضيات المختلفة حول كيفية تشييد هذه الأشكال، إلا أنهم لا يزالون بكل تأكيد قادرين على الاستدلال على أن فاعلين أذكياء قد شيدوها. بنفس الطريقة، يمكننا أن نستدل

على أن العقل لعب دورًا سببيًّا في أصل حيوانات العصر الكامبري، حتى لو كنا لا نستطيع تحديد الوسائل المادية -إن وجدت- التي استخدمها العقل المصمم لنقل المعلومات، أو لتشكيل الجسم، أو نقل أفكار تصميمه إلى نموذج حي. وعلى الرغم من أن نظرية التصميم الذكي تستدل على أن وجود سبب ذكي لعب دورًا في تشكيل تاريخ الحياة، إلا أنها لا تصرح بكيفية ذلك، كما أنها لا تملك أن تفعل ذلك.



الشكل (١٩-٢): مجموعة من المنحوتات لرؤوس عملاقة يطلق عليها (مويس) في جزيرة الفصح. بإذن من آي ستوك فوتو.

هناك سبب منطقي يمنعنا دون مزيد من المعلومات من تحديد التفسير الميكانيكي أو الوسائل التي استخدمها العقل الذكي المسؤول عن الحياة في نقل تصميمه إلى حيز المادة، لكن يمكننا أن نستدل على السبب الذكي من خلال خصائص معينة للعالم المادي، حيث إن من المعلوم أن العقل سبب ضروري، بل

هو السبب الوحيد المعروف لتلك الخصائص، وهذا يتيح لنا أن نستدل على العقل بشكل استعادي -بالنظر نحو الماضي- على أنه السبب من خلال مراقبة آثاره المميزة. بغض النظر عما سبق، لا نستطيع وضع السيناريو الفريد في وصف كيفية تأثير أفكار الفاعل الذكي المسؤول عن الحياة على المادة، لأن هناك العديد من الوسائل المختلفة الممكنة التي يمكن من خلالها أن تنتقل فكرة ما في عقل ذكي إلى العالم المادي.

هناك سبب آخر أكثر عمقًا وراء عدم قدرة نظرية التصميم الذكي -بل العلم نفسه في الواقع- على تقديم تفسير ميكانيكي تام حول تجسيد الفكر إلى عالم المادة، وبالنسبة لتساؤل روبرت آشر "كيف يمكن لظاهرة بيولوجية، حتى لو كانت مصممة، أن تكون في حيز الوجود تحت تأثير إرادة الحدوث فقط دون وجود تفسير ميكانيكي فعلي؟" وبناءً على فهم آشر نجد أن مبدأ التماثل يتطلب مثلًا سابقًا، وهو سبب معروف لا يقوم بإيجاد المعلومات فقط، لكن يترجم الفكر غير المادي إلى حقيقة ماديّة، ويؤثر على العالم المادي ويقوم بتشكيله. يشتكي آشر من أن حجة نظرية التصميم الذكي لا يمكن أن تستشهد بهذا المثل السابق، بالتالي فهي ضد مبدأ التماثل.

لكن المثل السابق يأتي بسهولة جدًا إلى الذهن، وهو مدرك بصورة كاملة بالنسبة لنا جميعًا، فليس لدى أحد اليوم أيّة فكرة عن كيفية تأثير أفكارنا -القرارات والاختيارات التي تحدث في عقلنا الواعي- على عقولنا المادية وأعصابنا وعضلاتنا لتجسيد إرادتنا في العالم المادي، مع ذلك فنحن نعلم أن هذا هو بالضبط ما تفعله أفكارنا. ليس لدينا أي تفسير ميكانيكي للغز الوعي، ولا ما يسمَّى بـ(مشكلة العقل والجسم)، وهو لغز كيفية تأثير الفكر على الحالة المادية لأدمغتنا وأجسامنا والعالم

الذي نؤثر فيه، مع ذلك لا يوجد شك في أننا نستطيع -نتيجة ما يحدث في عقولنا الواعية من القرارات أو الاختيارات- تجسيد إرادة بترتيبات مادية مليئة بالمعلومات، أو ربما التأثير على الحالة المادية الموجودة في العالم. وقد فعل البروفيسور آشر ذلك عندما كتب الفصل الذي يحاول فيه انتقاد نظرية التصميم الذكي في كتابه، وهو الفصل الذي عرض فيه أفكاره على شكل كلمات مطبوعة في شيء مادي، وأنا أفعل هذا الآن. يكشف هذا المثال تجاربَ يومية لا تعد ولا تحصى في الحياة، وهو بالتأكيد يلبِّي متطلبات مبدأ التماثل.

على الرغم من أن علم الأعصاب لا يستطيع تقديم أي تفسير ميكانيكي للوعي أو مشكلة العقل والجسم، فإننا نعلم أيضًا أننا يمكن أن ندرك أثر الفكر، وتأثير التصميم الذكي في تجلياته المميزة الغنية بالمعلومات. لقد أدرك البروفيسور آشر الدليل على الفكر عندما قرأ نص كتابي، وفعلت ذلك عندما قرأت كتابه، وأنتم تقومون بذلك حتى الآن. هكذا، وعلى الرغم من إمكانية جهلنا المطبق بكيفية تأثير العقول على الجسم -ومن ثَمّ وجود فجوة دائمة في محاولتنا إدراك كيفية تأثير العقل المصمم على الجسم وكيفية تشكيل المنظومات الحية- إلا أن ذلك لا يستتبع عجزنا عن إدراك الدليل على تأثير العقل في الأنظمة الحية.

لكن ما شأن العلم بهذا الأمر؟

إذا كان أنصار نظرية التصميم الذكي يعترفون بأنهم لم يجيبوا -وربما لا يستطيعون الإجابة- على السؤال عن كيفية تأثير أفكار العقل المسؤول عن تصميم الحياة الحيوانية على المادة، لماذا يهمنا أن نعرف الدليل على نظرية التصميم الذكي؟ إذا كانت نظرية التصميم الذكي تستبدل لغزًا بآخر، فلماذا لا نقتصر على

التفسيرات المادية بعد كل ذلك –حسب متطلبات الطبيعية المنهجية– ونقنع بقبول اللغز الموجود لدينا بالفعل؟ ألا يمكن أن يكون ذلك أكثر بساطة وعقلانية؟

ربما، لكنه يضع اللغز في المكان الخطأ. نعلم حقًا أن هناك سببًا يمكن أن يقدم المعلومات الوظيفية اللازمة لبناء الأنظمة المعقدة، لكننا لا نعرف بالضبط كيف يتواصل العقل مع الجسم. إذا كان لنا أن نسأل ما هو سبب وجود حجر رشيد، ثم نصر على الرغم من كل الأدلة أنها عملية مادية بحتة قادرة على إنتاج رسومات غنية بالمعلومات على هذا الحجر، فإننا بذلك نخدع أنفسنا، فالمعلومات المحفورة في هذا اللوح الأسود من الصخور البركانية، والموجود في المتحف البريطاني، توفر أدلة دامغة على وجود فاعل ذكي سبّب تلك النقوش، وأي قاعدة تمنعنا من اعتبار هذا التفسير تعتبر قاعدة تنتقص من عقلانية العلم؛ لأنها تمنع العلماء من النظر في تفسير –واضح في هذه الحالة– محتمل صحيح. لهذا السبب، لا ينبغي لقواعد العلم أن تلزمنا برفض نظريات محتملة الصحة قبل أن تنظر في أدلتها، لكن هذا هو بالضبط ما تفعله الطبيعية المنهجية.

علاوة على ذلك، فإن التمسك بالطبيعية المنهجية ورفض النظر في أدلة نظرية التصميم الذكي في الحياة لا يؤثر فقط على التفسيرات التي نريد النظر فيها حول أصول وتاريخ الحياة، لكنه يؤثر أيضًا على الأسئلة التي نطرحها حول الحياة كما هي موجودة، بالتالي حول جدول أعمال البحوث البيولوجية الذي ننشده بأكمله.

وبالقياس على القطعة الأثرية البشرية مرة أخرى، فإننا نبين إذا كان لنا أن نسأل كيف قام الكاتب المسؤول عن النقوش الموجودة على حجر رشيد بإنجاز

مهمتة –أو مهمتها–، أمِن خلال إزميل معدني أم قطعة مشحوذة من حجر السج، أم قلم من الماس، أم بوسائل من بعض المواد الأخرى؟ قد لا يكون لدينا ما يكفي من الأدلة للإجابة على هذا السؤال.

مع ذلك، سوف يدرك علماء الآثار أنهم ينظرون إلى قطعة أثرية من صنع عقل ذكي، وليس نتيجة ثانوية لعمليات طبيعية بحتة، وسوف يؤدي بهم ذلك إلى طرح أسئلة أخرى ذات صلة أكبر بالحجر، مثل: ماذا تعني هذه النقوش؟ من الذي كتبها؟ وما الذي يخبرنا به حول الثقافات الموجودة في ذلك الوقت؟ بأسلوب مشابه، ما الذي نعتقده حول كيفية نشأة الحياة الحيوانية وتطورها؟ سوف يؤدي هذا بنا إلى طرح أسئلة مختلفة حول النماذج الحية، وهي أسئلة من الممكن ألا نتخيلها أبدًا إذا افترضنا أنها نشأت من خلال ميكانيكية بحتة غير موجهة، مثل الانتخاب الطبيعي، فالفاعلون الأذكياء والانتخاب الطبيعي يقومون بعملهم بشكل مختلف إلى حد كبير، فالتفسير الميكانيكي للطفرة والانتقاء هو أنها عملية عمياء خاضعة للتجربة والخطأ، وعليها في الوقت نفسه أن تحافظ على المنافع الوظيفية أو تحسينها بسلسلة من الخطوات المتتالية. على ضوء الافتراضات الداروينية، فإننا لا نتوقع لمس حاجة البنى أو الأنظمة في الكائنات الحية لحكمة معينة، ولا نتوقع رؤية البنى التي يجب إنتاجها دفعة واحدة في القفزات الكبيرة بدلًا عن سلسلة من الإجراءات للحفاظ على الخطوات التدريجية، بل نتوقع بدلًا من ذلك رؤية دليل على وجود عملية التجربة والخطأ في جينومات الكائنات الحية.

لكن ماذا يحدث إذا فتحنا أعيننا وعقولنا على إمكانية اكتشاف التصميم في الحياة؟ نحن نعرف الكثير حول كيفية قيام المصممين الأذكياء بعملهم، حيث يستخدم المصممون الأذكياء العديد من استراتيجيات التصميم، أو كما يقول

المهندسون (أنماط التصميم)، ولديهم أيضًا الحكمة التي تمكنهم من تحقيق أهداف وظيفية دون الحاجة إلى الحفاظ على وظيفة من خلال سلسلة من البنى الوسيطة، وعادة ما يقومون بهندسة النظم الجديدة من البداية دون الاعتماد على التعديلات العشوائية أو الإضافية أو التعديلات القابلة للتجربة والخطأ في نظام ما لإنتاج نظام آخر.

حيث إن هذين النوعين المختلفين من الأسباب يعملان بشكل مختلف، وغالبًا ما ينتجان أنواعًا مختلفة من البنى والنظم، فإنَّ على العلماء توقع البحث بشكل مختلف حول النظم الحية –وتاريخ الحياة– اعتمادًا على أي السببين أوجد الكائنات الحية أو البنى المعنية، ويمكن أن تقود وجهات النظر المختلفة هذه وتلك التوقعات العلماءَ إلى طرح أسئلة بحثية مختلفة وتقديم تنبؤات مختلفة حول ما ينبغي أن نجده في بنية الحياة نفسها.

مشروع إنكود وأحد تنبؤات نظرية التصميم الذكي

في عام ٢٠١٢، حدث تأكيد مفاجئ لواحد من التنبؤات التي قدمها مؤيدوا نظرية التصميم الذكي في مجال علم الجينوم، حيث قامت ثلاثة مجلات علمية رائدة (الطبيعة Nature، بحوث الجينوم Genome Research، وعلم أحياء الجينوم Genome Biology) بنشر سلسلة من الأبحاث الرائدة التي تعرض نتائج دراسة واسعة النطاق حول الجينوم البشري تسمى مشروع INCODE –اختصارًا لجملة "موسوعة عناصر الحمض النووي"–[٤٠]، وخلاصة هذه الأبحاث تقول إن ما لا يقل عن ثمانين بالمئة من الجينوم يؤدي وظائف بيولوجية كبيرة، وهو ما قضى على الرأي السائد على نطاق واسع بأن الجينوم البشري هو في الغالب حمض

نووي خردة –غير هام–.[٤١] عارض الاكتشاف التفسير السائد من قبل الداروينية الجديدة للجينوم منذ فترة طويلة، حيث إنه وفقًا للداروينية الجديدة لابد أن يوضّح الجينوم دليلًا على عملية التجربة والخطأ العشوائية التي أدَّت إلى معلومات وراثية جديدة، وقد لقيت الفكرة ترحيبًا بعد اكتشاف في سبعينات القرن الماضي بأنَّ نسبة صغيرة فقط من الجينوم تحتوي على معلومات لبناء البروتينات، وهو ما اعتبر تأكيدًا قويًا لوجهة النظر الداروينية عن الحياة. كان من المفترض أن تكون المناطق غير المرمزة من الجينوم عبارة عن مخلفات غير وظيفية للعملية الطفرية القائمة على التجربة والخطأ، وهي العملية التي تحدث في الرمز الوظيفي في الجينوم، نتيجة لذلك اعتبرت هذه المناطق غير المرمزة حمضًا نوويًا خردة، وقد شمل ذلك شخصًا بارزًا في تخصصه مثل فرانسيس كريك.[٤٢]

ولأن نظرية التصميم الذكي تؤكد على وجود سبب ذكي أوجد الجينوم، توقع دعاة نظرية التصميم منذ فترة طويلة أن معظم سلاسل الترميز غير البروتيني في الجينوم يجب أن تقوم ببعض الوظائف الحيوية حتى لو كانت لا تشمل هذه الوظائف تخليق البروتين. لا ينكر منظرو التصميم حدوث عمليات طفرية قد تدهور بعض الأحماض النووية الوظيفية في السابق، لكننا توقعنا أن الحمض النووي الوظيفي (الإشارة) يجب أن يضعف الحمض النووي غير الوظيفي (الضوضاء)، وليس العكس. كما تنبأ ويليام ديمبسكي، أحد دعاة نظرية التصميم البارزين، في عام ١٩٩٨ فقال: "من وجهة نظر تطورية فإننا نتوقع الكثير من الحمض النووي عديم الفائدة، أما على الجانب الآخر، فإن وجود التصميم في الكائنات الحية يعني أن نتوقع امتلاك الحمض النووي لوظائف معينة قدر الإمكان".[٤٣]

وقد أكَّد مشروع إنكود وغيرها من الأبحاث الأخيرة في علم الجينوم هذا التنبؤ، حيث ذكر المقال الرئيسي في مجلة (ناتشر) أن هذا المشروع قد "مكننا من عزو وظائف بيوكيميائية لـ٨٠% من الجينوم في مناطق معينة خارج مناطق ترميز البروتين المدروسة بعناية".[٤٤] وقد أظهرت أبحاث أخرى حول الجينوم أن المناطق غير المرمزة تعمل بشكل عام مثل نظام التشغيل في جهاز الكمبيوتر، والواقع أن المناطق غير المرمزة من الجينوم تتحكم في توقيت وتنظيم ظهور وحدات البيانات أو مناطق الترميز في الجينوم، بالإضافة إلى وجود وظائف أخرى لا تعد ولا تحصى.[٤٥]

قبل مشروع إنكود، تساءل مؤيدو الداروينية الجديدة كثيرًا عمَّا إذا كانت المعلومات في الحمض النووي تقدِّمُ هذه الأدلة الدامغة على نشاط مصمم ذكي، إذ ما هو السبب الذي يجعل أكثر من ٩٠ بالمئة من الجينوم عبارة عن سلاسل عديمة الوظيفة والفائدة؟ وتقدم أحدث الأبحاث التي تتعلق بالجينوم في الوقت الحاضر إجابة جاهزة على هذا السؤال: إنه ليس كذلك.

مرَّت أهمية هذه الاكتشافات في علم الجينوم بالنسبة للنقاش حول نظرية التصميم دون صخب -إلى حدٍ كبير- في وسائل الإعلام، إلا أن المحاولات المتكررة لوصم باحثي إنكود على أنهم يساعدون ويحرضون "أصحاب مذهب الخلق المؤيدين لنظرية التصميم الذكي" قد سلطت الضوء عن غير قصد على ما هو على المحك، وفي سياق هذا الجهد برز لورانس أ. موران، عالم الكيمياء الحيوية في جامعة تورونتو، على أنه الرجل الكشاف. ارتكزت استراتيجية موران على التحريض ضد العلماء والصحفيين العلميين الذي قاموا بنشر مشروع إنكود وآثاره بوسمهم بأتباع المذهب الخلقي على طريقة التصميم الذكي، وهذا خلط

مألوف جدًا بين نظرية التصميم الذكي مع فكرة مختلفة جدًا، هي التفسير الحرفي للإنجيل لما يقوله حول خلق الأرض. عندما اختارت مجلة (ساينس) المتميزة مشروع إنكود باعتباره واحدًا من العشرة الأوائل من أخبار العلوم لعام ٢٠١٢ تذكيرًا للقراء بأنه قد نسف مفهوم الحمض النووي الخردة من خلال الكشف عن وظائف كبيرة جدًا في الجينوم[٤٦] صرَّح موران مستهزءًا: "حسنا، أعتقد أنني سأكتفي بمجرد الإشارة إلى أن العديد من العلماء أغبياء مثل كثير من الخلقيين من دعاة نظرية التصميم الذكي".[٤٧]

في عالم العلم، كما هو الحال في وسائل الإعلام، تعتبر كلمة "الخلقيون" كلمة قذرة، وهي مثل أن تنادي شخصًا ما بكلمة "شيوعي" في خمسينات القرن الماضي. توضح مثل هذه المحاولات لوصم النتائج التي تعارض نظرية مفضلة بالعار كيف يمكن للاحتكار الأيديولوجي في العلوم أن يخنق البحث والمناقشة.

يظهر طرح فكرة الحمض النووي الخردة أرضًا –وبطريقة أكثر إيجابية– كيف يمكن لمنظور منافس أن يلهم البحوث التي تسهم في اكتشاف جديد. رغم أنه من الواضح أن كل العلماء الذين قاموا بإجراء أبحاث ساعدت على إيجاد أهمية وظيفية للحمض النووي غير المرمز للبروتين لم يكونوا ملهَمين بنظرية التصميم الذكي –على أقل تقدير كان هناك عالم خلال الجزء الأول من ذلك العقد– قبل أن يصبح إنكود عنوانًا للصحف، حيث قام بنشر العديد من المقالات التي تتحدى فكرة الحمض النووي الخردة بناء على أبحاث في علم الجينوم قد أجراها في المعهد الوطني للصحة NIH. بعد نشر نتائج إنكود عام ٢٠١٢، كتب عالم الوراثة البارز بجامعة شيكاغو، وهو المؤلف المشارك في كثير من تلك المقالات (جيمس شابيرو) مقالًا في جريدة (هافينجتون بوست) أثنى فيه على ذلك العالم لأبحاثه

الرائدة ولتوقع نتائج إنكود قبل سنوات، وأقرَّ شابيرو في هذه المقالة أنه والمؤلف المشارك له لديهما "فلسفات تطورية مختلفة" –في إشارة متسامحة للاهتمام المتنامي لدى المؤلف المشارك له بنظرية التصميم الذكي–. لكن من كان هذا العالم الآخر؟ إنه (ريتشارد شتيرنبرغ)، عالم الأحياء التطوري الذي عوقب لانفتاحه على نظرية التصميم الذكي أثناء عمله في مؤسسة سميثسونيان –والمعهد الوطني للصحة– في عام ٢٠٠٤، حيث أودت شكوك شتيرنبرغ حول الداروينية الجديدة واهتمامه المتزايد بنظرية التصميم الذكي في ذلك الوقت إلى النظر في إمكانية وجود وظيفة لغالبية الجينوم[٤٨]، وهو ما أكده بحثه لاحقًا، وهي فكرة مستوحاة جزئيًّا من نظرية التصميم الذكي. قمت في كتاب (التوقيع في الخلية) بوصف العديد من التنبؤات الأخرى التي ميزت نظرية التصميم الذكي –أقصد التنبؤات المختلفة عن تلك التي تعارض النظريات التطورية المادية–، وكيف أنَّ هذه التنبؤات قد ساعدت على توجيه البحوث العلمية الجديدة في مختلف التخصصات الفرعية لعلم الأحياء، بما في ذلك بعض الأبحاث في الطب. وقد تقود هذه التنبؤات أيضًا العلماء لعمل اكتشافات جديدة، اكتشافات يمكن ألا يميل أنصار المنظور المعارض إليها أو لا يقبلونها.

آفاق مفتوحة

ينبغي أن يكون من الواضح الآن سبب غياب أدلَّة نظرية التصميم في الانفجار الكامبري عن الكثير من العلماء البارزين، ذكر الأحيائي (سكوت تود) الكاتب في مجلة (ناتشر) السبب بإيجاز: "حتى لو كانت كافة المعلومات تشير إلى وجود مصمم ذكي، فإنَّ مثل هذه النظرية ستخضع للاستبعاد من العلم؛ لأنها ليست طبيعية".[٤٩] عندما يقر العلماء بالأمر أن نظرية التصميم الذكي تقبع خارج حدود العلم، فإن قرارهم هذا سيمنعهم من النظر في هذا التفسير المحتمل أو ربما الصحيح لأصل الحيوان، كذلك سيحرمهم من منظور جديد يمكن أن يولد أسئلة بحثية جديدة ويزيد سبلًا جديدة للاكتشاف. مع العلم أن ذلك يسهم في حل اللغز النهائي لهذا الكتاب، إلا أنه يشير أيضًا إلى طريقة أكثر إنتاجية تجاه تناول الألغاز التي لم يتم حلها بعد. ليس لدى العلماء الملتزمين بالطبيعية المنهجية أي شيء ليخسروه، لكن قيودهم لا تزال تربطهم بالمادية التي صدأت واستنفدت في القرن التاسع عشر. إن المستقبل يفتح ذراعيه لهم ولنا، حيث إننا في مجتمع أبحاث نظرية التصميم الذكي نحب أن نقول: دعونا نكسر بعض القواعد ونتبع الدليل إلى حيث يقود.

الفصل العشرون

مكمن الخطر

مكمن الخطر

في صيف عام ٢٠٠٢ أتيحت لي فرصة التنزه في منطقة صخور بورجس الطينية برفقة مجموعة من علماء الجيولوجيا والفيزياء الأرضية والبيولوجيا البحرية، كما كان من ضمن المجموعة ابني البالغ أحد عشر عامًا وصديقه اليافع الذي كان مهتمًا بالأحافير الكامبرية والجدل الدائر حول الداروينية والتصميم.

عند وصولنا إلى قمة الجبل لم أكن أتوقع ذلك الشعور الذي أثارته في داخلي رؤية تلك الأحافير، فقد رأيت طبعًا الكثير من الأحافير سابقًا، لكن مشاهدة هذه الأحافير –وهي حيوانات بحرية ما تزال في قمة جبل منذ فجر الحياة الحيوانية مع زوائدها وأعضائها محفوظة بشكلٍ جيد– جعلت من فكرة الانفجار الكامبري أكثر واقعية بالنسبة لي أكثر من أي وقت مضى؛ فقد ظهرت هذه الكائنات البحرية المعقدة –التي يداعبها تيار رقيق من الهواء على ارتفاع ٧٥٠٠ قدم في وسط جبال الروكي الكندية– على ما يبدو فجأة، وتقريبًا دون أشكال سلفية في السجل الرسوبي. يصرخ كل شيء حولها بقصة (قصة كبيرة)، وبدأ سيل عقلي ومخيلتي (الشكل ٢٠-١).

كانت رحلتنا رائعة بقدر روعة الأحافير التي رأيناها، وقد حدث في الطريق شيئان حُفرا في ذاكرتنا، الأول أثناء صعودنا الجبل، والآخر أثناء نزولنا منه؛ فخلال صعودنا واجتيازنا منحدرًا صخريًّا –وهو قسم من الجبل خالٍ من النباتات، وتغطيه أجزاء من صخور رسوبية فقط– سمعت ابني يناديني من الأعلى في مقدمة المجموعة، ولم يكن ذلك متوقعًا، وكان في صوته رجفان، فنظرت إلى الأمام لأراه، فوجدته كالعادة فتىً لا يعرف الخوف ممتلئًا، بالطاقة اللامحدودة، لكنه كان واقفًا

متسمرًا في مكانه وقد اتسعت عيناه وشحب لونه، فتجاوزت عددًا من زملائي في القافلة للوصول إليه، فتبين أنه يعاني نوعًا من الدوار، رغم أن تلك النقطة من الجبل لم تكن ذات انحدار خطير.(الشكل ٢٠-٢) كان قد نظر خطأً إلى أسفل الجبل في أثناء عبوره طريقًا يشق منحدر جبال الروكي، ليس هناك من أشجار تستخدم كنقطة مرجعية، وكان هناك مئات الأقدام من الأجزاء الصخرية المتصدعة حوله ومن فوقه، فأصابته حالة من الارتباك والهلع. مشيت خلفه وأخذت أهدئ من روعه في أثناء سيرنا على خطا القافلة خطوة بخطوة عبر جزء مكشوف من الجبل، ما لبثنا أن عدنا إلى مكان على الطريق فيه شجر ونباتات أخرى، فكان وجودها مطمئنًا لإمكانية استخدامها نقطة مرجعية. سرعان ما عاد المنظور الطبيعي إلى ذهن ابني، فاستراح، وابتسم حالًا وأخذ يثب بثقة ليسبقني من جديد.

في طريقنا نحو أسفل الجبل حدث حوار صادم بيني وبين أحد أفراد الفريق، حيث عبَّر عن نمط آخر من الارتباك. بدأ الأمر بحوار بين صديق ابني ومرشدنا الميداني الرسمي، وقد كلفته المؤسسة المحلية لعلوم الأرض في صخور بورجس الطينية بإرشادنا. كان دليلنا عالمَ أحافير قام بعمل رائع، إذ أخبر العديد بقصة لطيفة حول التاريخ الجيولوجي للتشكيلات المحيطة بنا، وحول اكتشاف الأحافير، وبالطبع حول التاريخ التطوري للحياة الحيوانية. في الحقيقة قبل انعطافنا عند الزاوية الأخيرة على الطريق صعودًا إلى مجموعات ضخمة من الأحافير الممتازة المتاحة للعيان في قمة الجبل مرر في وصفه للموقع الأحفوري عبارة تدعم المعتقد التطوري التقليدي، وقد كان واضحًا أن مرشدنا لم يكن مدركًا أن العديد ممن في مجموعتنا يعلم بأن الأحافير التي كنا سنراها بعد قليل تتحدى القصة الداروينية المعيارية.



الشكل (٢٠–١): أحفورة ثلاثي فصوص وجدت في طين بورجس الصفائحي. بإذن من مايكل ميلفورد / مجموعة صور ناشيونال جيوغرافيك / Getty Images.



الشكل (٢٠–٢): الشكل (٢٠–٢)a: (يسار) صورة للمؤلف وابنه جيمي في مَقلَع (والكوت) في بورجس في كولومبيا البريطانية بكندا. الشكل (٢٠–٢)b: (يمين) استراحة لحظة للتفكر بالمنحدر أسفل نتوء صخور بورجس الطينية.

لم نكن قد أثرنا قضية حول وجهات نظرنا طبعًا، لكن كل العلماء الذين كانوا في الرحلة تقريبًا يشككون بالداروينية الحديثة، فقد كان معنا في الرحلة باول تشاين، وهو عالم أحياء بحرية من جامعة سان فرانسيسكو، وقد عمل مع (ج. ي. تشين) في الصين على أحافير جنين الإسفنج، وكان له باع في دراسة أحافير الحقبة الكامبرية، كما هو الحال ذاته بالنسبة للعديد من علماء الجيولوجيا الكنديون الذين كانوا معنا في الرحلة. مع ذلك لم يرغب أي منا في إظهار خلاف غير ضروري، فتجنبنا بحذر الانخراط في أي جدال، فقد كان اهتمامنا منصبًا على رؤية الأحافير.

في أثناء نزولنا من الجبل تساءل صديق ولدي عن كيفية جمع المرشد بين ما رأيناه الآن من أحافير وإيمانه بالتطور الدارويني، فأكد المرشد التزامه بآراء الحزب الدارويني، وأخبرنا أنَّ في رأيه أن داروين سيشعر أنه في أمان بعد اكتشاف هذه الأحافير في بورجس. كان هذا للصبي الناضج العاقل إثباتًا كبيرًا جدًا، فصاح من فوره: "ماذا تقول؟ داروين في أمان؟ بعد ظهور كل هذه الحيوانات فجأةً بلا أية أسلاف في السجل الأحفوري. هل تمزح".

عليك أن تعرف هذا الصبي المحبوب لتفهم كيف سَحَرَ المرشد وأعجبه كثيرًا بثورانه الذي لم يكتمه، لكن لحسن الحظ أنه قام بذلك، حيث إن البقية منا شعر بالخجل في البداية، فقد كان هذا النقاش هو الذي حاولنا تجنبه، لأننا نعلم يقينًا المشاعر القوية التي يشعلها في معظم الأحيان، إذ إن مناقشة العلماء حول الأديان أو السياسة أكثر أمانًا من هذا النقاش.

لكن المرشدَ استوعب كل ذلك التحدي دون أن يهتز، مما يجعله يستحق التقدير، فشرح كيف أن أحافير بورجس تظهر الدليل على التغير بمرور الزمن، وكيف أن العمود الصخري يظهر العمر الطويل للأرض، وكيف أن اكتشاف هذه

الأحافير في أعالي الجبل يبين تطور كوكب الأرض، لكن صديقنا الصغير كان قد أمضى الكثير من وقته في قراءة ما كتب حول الموضوع لدرجة أنه لن يسمح أن تفوته النقطة عند ذلك الحد، فتجاهل قضية عمر الأرض جانبًا، والذي يعتقد كلاهما -صديقنا ومرشدنا- أنه يقدر ببلايين السنين، وطمأن الرجل بأنه يقبل الدليل على التغير بمرور الزمن في السجل الرسوبي، إذ لم يشكك بالتطور من هذه الناحية، إنما شكك بالتطور الداروني تحديدًا، فقال بصوت يافع مفعم بالإثارة وأخذ يزداد مداه: "أين هو الدليل على التغير المتدرج؟"، ثم تابع قائلًا: "أية آلية قادرة على إنتاج العديد من الحيوانات الجديدة بهذه السرعة؟".

حدث عندها شيء غريب؛ إذ توقف فجأة عالم الأحافير الذي كان يرشدنا في نزولنا أسفل الطريق عن العمل بدور المرشد، ونزع كل تظاهرٍ بالسلطوية وقال: "أتعلمون؟ قد تعجبت أنا من ذلك أيضًا". فظننت أني سمعت في صوته الدهشة الصريحة الصادرة من الصبي ذي الأربعة عشر عامًا الذي كان هو ذاته يومًا ما.

سأله صديق ولدي: كيف تفسر هذا؟

فتكلم الشاب المتحدث باسمنا بثقة مؤكدًا: "إنه التصميم الذكي بالتأكيد".

في تلك النقطة، أخذ مرشدنا يطرح أسئلة للسبر، فنفدت خزينة معلومات الصبي الصغير بسرعة، وبدأ يعتمد علي لأدخل معهما في الحديث، وهو ما كان . وإن كنت مترددًا في البداية .. شرحت حجة المعلومات للتصميم الذكي ومكان الانفجار الكامبري فيها، فسألني مرشدنا السؤال الصعب: كيف لنا أن نكتشف التصميم؟ هل التصميم الذكي علم؟ أولسنا بذلك نحتج فقط بالجهل ونتخلى عن العلم ـأو على الأقل عن علم التطور السائد مبكرًا جدًا؟ وكان يريد أن يعرف من كنت أظنه المصمم. كانت تحدياته صادقة وقوية، وتلا ذلك حوار رائع.

فاجأني المرشد عند نهاية الطريق بشكره إياي على الحوار الذي دار بيننا، وشكر صديق ابني لأنه هو من بدأ ذلك الحوار، ثم تكلم بعدها بنحو شخصي أكثر وباح بأنه يشعر بالانزعاج عند التفكير بالأصول البيولوجية، صرَّح أنه بوصفه عالمًا فهو ملتزم بوجهة النظر التطورية، لكنه وجد أيضًا أن إنكار الغاية محزن، وتساءل إن كان هناك أي سبيل لتأكيد العلم ووجود معنى للحياة كالذي تتحدث عنه الأديان على السواء.

بينما كنا على وشك الفراق عبر عن رغبته في التعرف على المزيد حول التصميم الذكي، وأخبرني أنه مهتم بوجهة النظر التي كنا نعمل على تطويرها، شعرت بأننا قمنا بتواصل إنساني مخلص بدلًا مما يحدث أحيانًا في مناظرات التطور من الاكتفاء بتقاذف العبارات التوكيدية.

مرت السنون، وفي أثناء بحثي وتأملي في الأصول البيولوجية أجريت العديد من المحادثات المشابهة مع أشخاص مختلفي القناعات والخلفيات -دينية وغير دينية-، مع علماء، ومهندسين، وأطباء، ورجال أعمال ونساء أعمال، ومصلحي الأدوات، وسائقي سيارات الأجرة. تبدأ هذه المحادثات عادة ببراءة تمامًا نتيجة لسؤال يطرح علي حول عملي الذي أكسب منه. رغم أنني غالبًا أتلطف في الرد "أعمل في منظمة بحثية" لتجنب الوقوع في حوار من العيار الثقيل في الطائرة أو فوق غسالة صحون مكسورة، لكن غالبًا ما تصل الحوارات إلى صلب القضية شئت ذلك أم أبيت، فالناس مهتمون في كيفية نشأة الحياة ويفهمون بِفطرتهم أنه مهما كانت النظرية التي نتبناها فلها مقتضيات فلسفية أو دينية أو وجهة نظر إلى العالم أكبر، بل عادة ما يحركهم التفكر في هذه المقتضيات والأسئلة الكبرى، ويرغب الكثير منهم في إيجاد طريقة لمواءمة الدليل العلمي مع وجهة نظر للعالم تراعي

أشواقهم الوجودية بما أنهم بشر، أي توقهم للغاية والأهمية. لكن كما هو حال مرشدنا. أُحبِط الكثيرون من صعوبة الوصول إلى نسيج منطقي مترابط.

ليس من الصعب معرفة السبب، فمن جهة لدى العديد من المؤمنين اهتمام ضئيل فيما يقوله العلم حول أصل الحياة، والواقع أن العديد من المؤمنين المتدينين ذوي النوايا الحسنة قد تبنوا وجهة نظر في العلاقة بين العلم والإيمان ترفض شهادة العلم بكونها غير ذات صلة أو حتى خطرة، وتؤكد أن قراءة الكتاب المقدس تكفي لمنح القارئ كل التبصر المطلوب لفهم كيف نشأت الحياة، ولا يحاول منهجهم هذا أن يوفق بين الإيمان والعلم؛ لأنه يَعد الإيمان بالكتاب المقدس بتفسير معين غالبًا المصدر الوحيد المعتمد للمعلومات المتعلقة بأصل الحياة.

من جهة أخرى، بدأ علماء كثر –وغيرهم– من الذين يظنون أنَّ العلم فيه ما يمكن أن نتعلمه منه حول الأسئلة الكبيرة يعتمدون تفسير الداروينية الحديثة للأصول البيولوجية، رغم الصعوبات العلمية الكثيرة التي تواجهها، ورغم إنكارها لكل دور للذكاء الهادف في تاريخ الحياة.

بمعنى أدق: هناك فكرتان شائعتان حول كيفية صياغة الداروينية للنظرة إلى العالم، تصل كل منهما إلى نتيجة مختلفة حول النظرة التي تؤكدها –أو تسمح بها–: الفكرة الأولى، هي (الإلحاد الجديد)، وقد وضحها المتحدثون باسمه –أي الإلحاد الجديد– من أمثال ريتشارد دوكنز في كتابه The God Delusion (وهم الإله)، ومن المتأخرين كريستوفر هيتشنز في كتابه God Is Not Great (الرب ليس عظيما).[١] يرمي الإلحاد الجديد إلى دحض وجود الإله لكونه فرضية فاشلة[٢] حسبما يقول كتاب آخر من كتب الإلحاد الجديد. لكن لم ذلك؟ وفقًا لدوكنز وآخرين لا دليل على وجود التصميم في الطبيعة. في الواقع تعتمد حجة دوكنز

للإلحاد على ادِّعائه أنه يمكن تفسير كل "مظاهر" التصميم في الطبيعة بالانتقاء الطبيعي والطفرات العشوائية، ويؤكد دوكنز أنه نظرًا إلى أن حجة التصميم باتت هي على الدوام الحجة الأقوى للإيمان بوجود الرب، فإنَّ الإيمان به –حسبما يستنتج– غير محتمل على الإطلاق، مثله مثل "وهم". تنظر الداروينية إلى الإيمان الربوبي على أنه مستحيل وغير ضروري بالنسبة للملحدين الجدد، وكما قال دوكنز مقولته الشهيرة: "مَكَّن داورين الملحدين من أن يكونوا ملحدين راضين من الناحية الفكرية".[٣]

اجتاح الملحدون الجدد سوق النشر في عام ٢٠٠٦ مع انطلاقة كتاب (وهم الإله)، لكن لم يكن في الإلحاد "الجديد" أي شيء جديد فعليّا، بل يمثل الإلحاد الجديد تبسيطًا للفلسفة المبنية على أساس العلم المعروفة بالمادية العلمية (scientific materialism) التي لاقت رواجًا بين العلماء والفلاسفة خلال أواخر القرن التاسع عشر على أثر الثورة الداروينية.

بالنسبة للعديد من العلماء والحكماء في ذلك الوقت كانت وجهة النظر إلى العالم المبنية على العلم هي وجهة نظر مادية لا دور فيها لكينونات كـ(الرب، والإرادة الحرة، والعقل، والروح، والغاية) كما ترفض المادية العلمية تبعًا للداروينية التقليدية الدليل على أي تصميم في الطبيعة، وهي بالتالي ترفض كل غاية مطلقة لوجود الإنسان. كما قال الفيلسوف والرياضي البريطاني (برتراند راسل) في مطلع القرن العشرين: "الإنسان نتاج أسباب لم تكن ذات رؤية مسبقة عن الغاية التي كانت تحققها"، وهي تحتم عليه "الانقراض في الموت الشامل للنظام الشمسي".[٤]

هناك وجهة نظر أخرى بديلة شائعة تعرف بالتطور الربوبي (Theistic Evolution)، وقد تبنى نشرها عالم الوراثة المسيحي فرانسيس كولنز في كتابه

The Language of God (لغة الإله) المنشور أيضًا عام ٢٠٠٦ [٥]، وتؤكد وجهة النظر هذه على وجود الإله وعلى التفسير الداروني للأصول البيولوجية، إلا أنها لا تفصل كثيرًا حول كيفية تأثير الإله أو عدم تأثيره في العملية التطورية، ولا حول كيفية التوفيق بين الادعاءات المتناقضة ظاهريًّا من التفسيرات الداروينية و(النصرانية–اليهودية) لأصل الحياة. فعلى سبيل المثال، رفض كولنز أن يقول فيما إذا كان يعتقد أن الرب قد أدار بشكلٍ أو بآخر العملية التطورية أو وجّهها رغم إثباته للداروينية الحديثة، التي ترفض تحديدًا أن يكون الانتقاء الطبيعي موجهًا بأي شكل. تصرُّ الداروينية والداروينية الحديثة على أن مظهر التصميم في الكائنات الحية ليس أكثر من وهم، لأنَّ الآلية التي تنتج ذلك المظهر هي آلية غير موجهة وغير منقادة. هل يرى كولنز أن الرب يقود عملية الانتقاء الطبيعي غير الموجهة؟ لا يفصح هو عن ذلك، ولا العديد غيره من أنصار التطور الربوبي. أتاح هذا الغموض إمكانية الدمج الصعب بين العلم والإيمان، لكنه لم يجب عن الكثير من الأسئلة. للإنصاف، يجادل العديد من أنصار التطور الربوبي بأن ليس كل الأسئلة المشابهة لها إجابات أصلًا، لأن كلًّا من العلم والإيمان يشغل مجالًا استفساريًّا ومعرفيًّا وتجريبيًّا منفصلًا وغير متقاطع مع الآخر، لكن هذه الإجابة بحد ذاتها تؤكد محدودية التوافق بين العلم والإيمان الذي حققه كولنز وآخرون ممن يحملون آراءه.

تمثل الحجة الواردة في هذا الكتاب تحديًا علميًّا لكل من الرؤيتين، فالدليل والحجة اللذان رأيناهما أظهرا في المقام الأول أن المقدمة المنطقية لحجة الملحدين الجدد معيبة، وآليات الطفرات والانتقاء الطبيعي لا تملك القدرة الخلاقة التي تنسب لها، لذلك لا يمكن بها تفسير مظاهر التصميم في الحياة. فعلى سبيل المثال، لا تفسر آليات الداروينية الحديثة لا المعلومات الجينية ولا فوق الجينية اللازمة لإنتاج مخططات جسدية حيوانية جديدة جذريًّا.

عرض هذا الكتاب أربعة انتقادات علمية منفصلة تظهر عدم كفاية آليات الداروينية الحديثة، هي الآليات التي يفترض دوكنز أنها قادرة على إنتاج مظاهر التصميم دون توجيه ذكي، كما أظهر الكتاب فشل آليات الداروينية الحديثة في تفسير نشوء المعلومات الجينية لأنها: ١) لا تملك وسائل للقيام ببحث كاف عن مورثات وبروتينات وظيفية في فضاء التسلسلات التوافقية combinatorial. لذلك فهي ٢) تتطلب انتظارًا أزمنةً طويلةً على نحو غير واقعي لتوليد بروتين أو مورثة واحدة جديدة فقط. كما أظهر الكتاب أنَّ هذه الآليات غير قادرة على إنتاج مخططات جسدية جديدة؛ لأن ٣) الطفرات التي تحدث باكرًا –وهو النمط الوحيد القادر على إنتاج تغيرات واسعة النطاق– تكون مؤذية دائمًا. ٤) ولا تستطيع الطفرات الوراثية بأي حال أن تولد المعلومات فوق الجينية اللازمة لبناء مخطط جسدي. لذا ورغم النجاح التجاري لكتاب (وهم الإله) ورواجه الثقافي الواسع، إلا أن فلسفة الملحد الجديد تعوزها المصداقية، لأنَّها بَنت فهمها لمقتضيات العلم الحديث الغيبية –الميتافيزيقية– على أساس نظرية علمية فاقدة بحد ذاتها للمصداقية، وهو ما يعترف به الآن العديد من العلماء الرواد في البيولوجيا التطورية.[٦]

ثانيًا: يطرح هذا الكتاب تحديًّا قويًّا أمام أنصار التطور الربوبي من أمثال فرانسيس كولنز –لكثير من نفس الأسباب السابقة–، إذ يمنح كولنز الكثير من الثقة للداروينية المعاصرة بوصفها النظرية الموحِّدة للبيولوجيا، لكنه يبدو غير مدرك بتاتًا للمشاكل العلمية الهائلة التي تعترض النظرية، لا سيما التحديات التي تواجه وجود القوة الخلاقة في آليات الطفرات أو الانتقاء الطبيعي، فهو لا يحاول أن يعالج أيًا من هذه التحديات أو يجيب عنها. أضف إلى ذلك أن كثيرًا من حججه على السلف المشترك العام، التي كان الدفاع عنها اهتمامه الرئيسي في كتاب (لغة

الإله)، مبنية على الوجود المفترض للعناصر غير الوظيفية أو (الخردة junk) في جينوم العديد من الكائنات الحية. ورغم أنَّ نظرية التصميم الذكي التي يقول كولنز أنه يعارضها لا تعارض بالضرورة هذا الجزء بالتحديد -وجود السلف المشترك- من النظرية الداروينية، إلا أن الأساس الواقعي لحججه قد تبخر إلى حد كبير الآن أيضًا نتيجةً لمشروع إنكود ENCODE وتطورات أخرى في علم الجينوم genomics.[٧] لذا فإن وجهة النظر الشائعة هذه حول الأصول البيولوجية ومفهومها عن العلاقة بين الإله والعالم الطبيعي باتت تتعارض الآن بشدة مع الدلائل، لكن لِمَ هذه المحاولة للتوفيق بين العقيدة النصرانية التقليدية والنظرية الداروينية -كما يحاول أن يفعل كولنز- طالما أن النظرية نفسها قد بدأت بالتداعي؟

يعرض منظور هذا الكتاب طريقةً قد تكون أكثر إقناعًا وتماسكًا منطقيّةً في التعامل مع الأسئلة الكبرى، وفي الجمع بين العلم والغيبيات -أو الإيمان- من أي من وجهتي النظر المعروضتين الأخريين الشائعتين حاليا. يطرح الانفجار الكامبري -كما النظرية التطورية بحد ذاتها- أسئلة أكبر حول وجهات النظر عن العالم، ويرجع ذلك بالتحديد إلى أنه يطرح أسئلة حول الأصول وحول التصميم، إضافة إلى السؤال الذي يجب على كل وجهات النظر إلى العالم أن تتفكر فيه، ألا وهو: ما هو الشيء أو الكيان الذي نشأ منه كل شيء؟ لكن بخلاف النظرة المادية الداروينية المتزمتة والإلحاد الجديد المبني عليها، تؤكد نظرية التصميم الذكي حقيقة وجود مصمم -أي عقل أو ذكاء شخصي- هو المسؤول عن نشوء الحياة وتطورها. تعيد قضية التصميم هذه للذهنية الغربية إمكانية أن تكون الحياة البشرية تحديدًا ذات هدف أو أهمية أكثر من كونها فائدة مادية مؤقتة، وتوحي بإمكانية أن تكون الحياة قد صممها شخص ذكي، وهو من يعرفه كثيرون بالإله.

لكن بخلاف التطور الربوبي الذي يدعو إليه فرانسيس كولنز لا تسعى نظرية التصميم الذكي إلى حصر نشاط هذه الواسطة في وقت بداية الكون، وتحمل انطباعًا عن وجود كينونة ربوبية نائية غير شخصية، كما أن نظرية التصميم الذكي ليست مجرد توكيد لوجود ذكاء مبدع للحياة، بل تحدد وتكتشف أفعال مصمم الحياة وتقوم بذلك في عدة نقاط من تاريخ الحياة، بما فيها العرض الانفجاري الإبداعي في معرض الحدث الكامبري. تجعل القدرة على ملاحظة التصميم الإيمان بوجود مصمم ذكي -أو خالق، أو الرب- أكثر من مجرد عقيدة إيمانية، فهي تجعله شيئًا تشهد عليه أدلة الطبيعة. وباختصار تضع النظرية العلم والإيمان في تناغم حقيقي.

وبنفس القدر من الأهمية لعل الحجة الدامغة على التصميم تدعمنا في كفاحنا الوجودي ضد خواء الوجود المادي وما يبديه من أننا بلا قيمة ولا أهمية – إحساس البقاء على قيد الحياة في سبيل البقاء على قيد الحياة فقط الذي ينبع من حتمية النظرة المادية للكون–. ربما يجد ريتشارد دوكنز وغيره من الملحدين الجدد أن التأمل في فكرة أن الكون غير هادف أمر لا يدعو للقلق، بل يجدونه ممتعًا ومثمرًا أيضا. لكن بالنسبة للغالبية العظمى من البشر ذوي التفكير العميق، فإن تلك الفكرة مرعبة جدًا لأن الحياة المعاصرة تعلق الكثيرين -هكذا نشعر- من الأعلى فوق واد سحيق من اليأس، وتثير في النفس مشاعر القلق والتشويش، أو بكلمة واحدة: الدوار. من جهة أخرى الدليل على التصميم الهادف للحياة يعرض أفقًا لأهمية الحياة وتكاملها والأمل فيها.

عندما غادر ولدي عبر الجبل عاليًا فوق وادي (يوهو)، كانت تحيط به العديد من الألواح الصخرية التي فيها أحافير كثيرة قد جئنا من أجلها، لكن عندما

أخذ يفحص ذلك الجزء القاحل من الأرض أضاع منظوره، فلم يدرك مكانه ونسي ما أتى من أجله. ولأنه لم يكن لديه علامات مرجعية ثابتة، شعر وكأنه ضائع في بحر من الانطباعات الحسية. من دون الإحساس بالتوازن شعر بالخوف لمجرد اتخاذ خطوة واحدة، فنادى والده.

لم يخطر في بالي إلا بعد مدة طويلة أن تجربته تلك تشبه تجاربنا نحن البشر حين نحاول فهم العالم من حولنا، ولرؤية صورة حقيقية للعالم ومكاننا فيه نحتاج إلى حقائق (بيانات تجريبية)، لكننا نحتاج أيضًا إلى منظور، هو ما يُسمَّى أحيانًا بـ(الحكمة)، وهي النقاط المرجعية التي توفِّرها وجهة النظر المتماسكة منطقيًّا عن العالم. توفرت الحكمة عبر التاريخ للعديد من الرجال والنساء من خلال تعاليم عقيدة التوحيد الغربية -أي بإيماننا بالرب-. تولد نظرية التصميم الذكي تحفيزًا وتنفيرًا على السواء، لأنَّها -إضافة إلى شرحها المقنع للحقائق العلمية- تبثُّ الأمل في المساعدة على دمج شيئين ذوي أهمية عليا، ألا وهما (العلم) و(الإيمان) اللذان بات ينظر إليهما منذ أمد طويل على أنهما متناقضان.[٨]

لا تعتمد نظرية التصميم الذكي على الاعتقاد الديني، ولا تقدم إثباتًا لوجود الرب، لكنها تنطوي على مقتضيات مؤكدة للإيمان، لأنها -بمعنىً دقيق- تدل على أن التصميم الذي نلحظه في العالم الطبيعي حقيقي، وهو تمامًا ما تقودنا لتوقعه وجهة النظر الألوهية التقليدية عن العالم. طبعًا هذا بحد ذاته ليس سببًا لقبول النظرية، لكن إن قبِلتها لأسباب أخرى، فقد يكون ذلك سببًا يجعلك تجدها نظرية مهمة.

شكر وتقدير

بالرغم من أني لست عالم أحياء، ولكني فيلسوف أحياء. لدي ميزة الاطلاع عن قرب على مجهودات البحث العلمي في التخصصات المتداخلة، وقد أعطاني ذلك نظرة شمولية على الاكتشافات والرؤى -الأحدث والأكثر تطورا- القادمة من بعض العلماء الاستثنائيين. وبأخذ ذلك في الاعتبار، أود أن أشكر زملائي في معهد ديسكفوري ومعهد بيولوجيك، خاصة؛ (بول نيلسون) و(دوجلاس أكس) و(جوناثان ويلز) و(مايكل بيهي) و(آن جوجر) و(ريتشارد سترنبيرج) و(بول شين) و(كيسي لسكين)، والذين أبحاثهم جعلت حجة هذا الكتاب ممكنة. أود أيضا أن أعبر عن شكري لبول نيلسون لمساعدته لي في كتابة الفصل السادس والثالث عشر، وهي نسخ موسعة من مقالات متخصصة كنا ننوي نشرها سويا. وكذلك كيسي لسكين -منسق أبحاث معهد ديسكفوري- الذي دأب على عمل الأكثر من الواجب في عمله الملتزم والماهر على هذا الكتاب.

أود أيضًا أن أشكر عالمي الأحياء المجهولين وعالمي الحفريات المجهولين والذين أعطوا عناية فائقة لزيادة الدقة والصرامة العلمين للمسودة أثناء عملية المراجعة من قبل الأقران. وكذلك أود أن أعبر عن شكري لبول شين وماركوس روز وبول نيلسون للأبحاث التي قاموا بها لدعم مقالنا في عام ٢٠٠٣م "الانفجار الكامبري: انفجار الأحياء العظيم"، والتي أعطت صقلا للحجة التي طورت هنا على نطاق واسع.

بالإضافة لذلك أود أن أعرب عن تقديري العميق لعمل كتاب ومحرري معهد ديسكفوري؛ (جوناثان ويت) و(ديفيد كلينهوفر) و(بروس تشيبمان) و(إلين ماير)،

والذين جعلوا مسودة هذا الكتاب مقروءة إلى أقصى حد ممكن. ويستحق (جوناثان ويت) مني ذكرًا خاصًا لمساعدته في إطلاق هذا المشروع ولمساعدته في تطوير العناصر والأفكار الرئيسية. وأود أن أشكر مساعدي (أندرو ماكديرمِد) لعمله الجاد في فهرسة وترتيب تدفق المعلومات. أما (راي براون) فلا يمكن إيفائه حقه من الشكر لأعماله الفنية الجميلة. وفي النهاية أود أن أعبر عن امتناني للأشخاص الجيدين في شركة هاربر كولينز؛ (ليزا زونيجا) لعملها الاستثنائي ومهارتها في التنسيق في تحريك الكتاب في مراحل الإنتاج المختلفة، و(آن مورو) لخبرتها في تصحيح النصوص، ولمحرري الأقدم (روجر فريت) لرؤيته وصبره ولإرشاده الواسع غير المعتاد.

الملاحظات



تمهيد

(1) Quastler, The Emergence of Biological Organization, 16.

(٢) للعدل، لا بد أن أذكر أنَّ القليل من منتقديَّ حاولوا حقًّا دحض أطروحات كتابي الفعلية حول نشأة الحياة، وقد ذكرت وزملائي هؤلاء النقاد في عدة مقالات تم تجميعها في كتاب:

David Klinghoffer, ed. "Signature of Controversy", Discovery Institute Press, 2010.

(3) Francisco Ayala, "On Reading the Cell's Signature," Biologos.org, January 7, 2010, http://biologos.org/blog/on-reading-the-cells-signature.

(4) Venema, "Seeking a Signature," 278.

(5) Dobzhansky, "Discussion of G. Schramm's Paper," 310.

(6) De Duve, Blueprint for a Cell, 187.

(7) Gould, "Is a New and General Theory of Evolution Emerging?" 120.

(٨) على سبيل المثال، انظر كتبا مثل:

Kauffman, The Origins of Order; Goodwin, How the Leopard Changed Its Spots; Eldredge, Reinventing Darwin; Raff, The Shape of Life; Müller and Newman, On the Origin of Organismal Form; Valentine, On the Origin of Phyla; Arthur, The Origin of Animal Body Plans; and Shapiro, Evolution.

وهذا غيض من فيض.

(٩) ويؤكد فوتوياما: "ليس هنالك بالتأكيد أي اختلاف بين خبراء البيولوجيا حول حقيقة حدوث التطور .... لكن النظرية التي تفسر كيفية حدوثه مسألة أخرى تمامًا، وهي موضع جدل محتدم" (Evolution as Fact and Theory, 8). بالطبع، إنَّ الاعتراف بأن الانتقاء الطبيعي غير قادر على تفسير مظهر التصميم معادل للاعتراف بأنه فشل في القيام بالمهمة المدعاة الموكلة إليه كبديل للمصمم".

(10) Scott Gilbert, Stuart Newman, and Graham Budd, as quoted in Whitfield, "Biological Theory"; Mazur, The Altenberg 16.
(11) Kauffman Kauffman, 361; Raff, The Shape of Life; Miklos, "Emergence of Organizational Complexities During Metazoan Evolution".
(12) Gilbert et al., "Resynthesizing Evolutionary and Developmental Biology."
(13) Webster, How the Leopard Changed Its Spots, 33; Webster and Goodwin, Form and Transformation, x; Gunter Theissen, "The Proper Place of Hopeful Monsters in Evolutionary Biology," 351; Marc Kirschner and John Gerhart, The Plausibility of Life, 13; Schwartz, Sudden Origins, 3, 299–300; Erwin, "Macroevolution Is More Than Repeated Rounds of Microevolution";Davidson, "Evolutionary Bioscience as Regulatory Systems Biology," 35; Koonin, "The Origin at150," 473–75; Conway Morris, "Walcott, the Burgess Shale, and Rumours of a Post-Darwinian World," R928-R930; Carroll, "Towards a New Evolutionary Synthesis," 27; Wagner, "What Is the Promise of Developmental Evolution?"; Wagner and Stadler, "Quasi-independence, Homology andthe Unity of Type"; Becker and Lönnig, "Transposons: Eukaryotic," 529–39; Lönnig and Saedler, "Chromosomal Rearrangements and Transposable Elements," 402; Muller and Newman, "Origination of Organismal Form," 7; Kauffman, At Home in the Universe, 8; Valentine and Erwin, "Interpreting Great Developmental Experiments," 96; Sermonti, Why Is a Fly Not a Horse?; Lynch, The Origins of Genome Architecture, 369; Shapiro, Evolution, 89, 128. David J. Depew and Bruce H. Weber,writing in the journal Biological Theory, are even more

frank, "Darwinism in its current scientific incarnation has pretty much reached the end of its rope" (89–102).

(14) "Statement on Teaching Evolution by the Board of Directors of the American Association for the Advancement of Science," St.Louis, Missouri, February 16, 2006; (accessed October 26, 2012)".

(15) Dean, "Scientists Feel Miscast in Film on Life’s Origin".

(16) Eugenie Scott, quoted in Stutz, "State Board of Education Debates Evolution Curriculum"; alsorequoted in Stoddard, "Evolution Gets Added Boost in Texas Schools".

الفصل الأول

(1) Darwin, On the Origin of Species, (484 - 490).

وفي مواضع أخرى من هذا الكتاب تحفظ داروين على مثل هذا، مشيرًا إلى أنَّ الحياة ربما تكون قد بدأت في الأصل بشكلٍ واحد أو عدة أشكال.

(٢) رغم تأكيد داروين على أن الانتقاء الطبيعي هو العامل الرئيسي في التغيير، إلا أنه أكَّد أيضًا على وجود آلية مسؤولة عن بعض التغيرات في الجماعات المتطورة، وهي الانتقاء الجنسي التي يكون فيها التفضيل –لدى الحيوانات المتكاثرة بالجنس– تجاه بعض الصفات دون غيرها في التزاوج المتوقع.

(3) Darwin, On the Origin of Species, 30.

(4) Darwin, On the Origin of Species, 21.

(5) Darwin, On the Origin of Species, 306–7.

(6) See The University of California at Berkeley Museum of Paleontology, "Brachiopoda," www.ucmp.berkeley.edu/brachiopoda/brachiopodamm.html (accessed October 23, 2012).

(7) www.geo.ucalgary.ca/~macrae/trilobite/siluria.html

(آخر دخول بتاريخ ٢٣-١٠-٢٠١٢)، حيث أعيد إنتاج رسومات رودريك مورتشيسون الماهرة لثلاثيات الفصوص.

(8) Agassiz, "Evolution and the Permanence of Type," 99.

(9) Ward, On Methuselah's Trail, 29.

(10) Darwin, On the Origin of Species, 307.

استخدم داروين أصلًا كلمة السيلوري Silurian وليس الكامبري، لأن العصر الذي نسميه اليوم بالعصر الكامبري كان يعتبر زمن داروين جزءًا من السيلوري الأدنى. وفي الإصدار السادس من كتابه أصل الأنواع استخدم داروين كلمة الكامبري بدل السيلوري. انظر:

Darwin, Darwin, On the Origin of Species; sixth edition, 286.
(11) Agassiz, Essay on Classification, 102.
(12) Agassiz Agassiz, Evolution and the Permanence of Type, 10.
(13) Murchison, Siluria, 469.

(١٤) رسالة من آدم سدجويك لتشارلز داروين في ٢٤-١١-١٨٥٩.

(١٥) انقرضت العديد من الأنواع الحيوانية تقريبًا بين ٤٥٠ إلى ٤٤٠ مليون سنة مضت، ويعرف هذا بالانقراض الأوردوفيسي، والذي أدَّى لاختفاء عدد هائل من اللافقاريات البحرية، وكان هذا هو ثاني أضخم انقراض في تاريخ الحياة، يسبقه فقط من حيث الحجم الانقراض البيرمي الكبير (حوالي ٢٥٢ مليون سنة مضت).

Dott and Prothero, Evolution of the Earth, 259.
(16) Mintz, Historical Geology, 146, 153–54, 124–27
(17) Prothero, Bringing Fossils to Life: An Introduction to Paleobiology,84–85. Dott and Prothero,Evolution of the Earth, 376–79
(18) Dott and Prothero, Evolution of the Earth, 425–26; Li et al., "An Ancestral Turtle from the Late Triassic of Southwestern China"; Gaffney, "The Comparative Osteology of the Triassic Turtle Proganochelys."
(19) William Smith, 1815 Geological Map of England and Wales.

(٢٠) تقدِّر الطرق الإشعاعية عمر الصخور بناء على قياسات نسب النظائر المشعة غير الثابتة ومنتجاتها بمعرفة معدلات التحلل الإشعاعي.

(21) Gould, Wonderful Life, 54.
(22) Darwin, On the Origin of Species, 302.
(23) Darwin, On the Origin of Species, 311.
(24) Gould, Wonderful Life, 57.
(25) Agassiz, "Evolution and the Permanence of Type," 97.

(26) Robinson, Runner on the Mountain Tops, 215.
(27) Lurie, Louis Agassiz, vii.
(28) Robinson, Runner on the Mountain Tops, foreword.
(29) Quoted in: Holder, Louis Agassiz, 180.
(30) Dupree, Asa Gray, 227.
(31) Dupree, Asa Gray, 226.

رغم إيمان المثاليين الألمان بأنَّ الأشكال الحيَّة تعكس خططًا إلهية إلا أنهم جميعًا لا يعاكسون فكرة التحول بين الأنواع. فمن وجهة نظر Schelling مثلًا نجد أن كل نوع يعكس مخططًا إلهيا موجودًا سلفًا لكنه ظهر بمرور الوقت بالانتقال الشكلي التدريجي.

(32) Dupree, Asa Gray, 260.
(33) Lurie, Louis Agassiz, 284.
(34) Lurie, Louis Agassiz, 88.
(35) Lurie, Louis Agassiz, 282.
(36) Gillespie, Charles Darwin and the Problem of Creation.
(37) Agassiz, "Evolution and the Permanence of Type," 101.
(38) Robinson, Runner on the Mountain Tops, 231–34.
(39) Quoted in Lurie, Nature and the American Mind, 41.
(40) Quoted in Lurie, Nature and the American Mind, 42.

(٤١) والشكر في ذلك لطالبي الأسبق (جاك روس هاريس Jack Ross Harris) ومقالته الاستكشافية غير المنشورة لعام ١٩٩٣، والتي كان عنوانها: " Louis Agassiz: A Re-evaluation of the Nature of His Opposition to the Darwinian View of Natural History"، فقد نبهني عمله في هذا الموضوع للطريقة التي يكتب بها المؤرخون بعد أن قلل القبول الواسع للداروينية من الأساس العلمي لاعتراضات Agassiz على النظرية.

(42) Lurie, Louis Agassiz, 244.
(43) Lurie, Louis Agassiz, 246.

(44) Quoted in Lurie, Louis Agassiz, 373.
(45) Gillespie, Charles Darwin and the Problem of Creation, 51.
(46) Agassiz, "Evolution and the Permanence of Type," 92–101
(47) Gray, Darwiniana, 127.
(48) See the parallel lines on the sides of the hills on either side of the valley in this beautiful picture:
www.swisseduc.ch/glaciers/earth_icy_planet/icons-15/16.jpg (last accessed Oct. 23rd, 2012).
www.uh.edu/engines/epi857.htm (last accessed Oct. 23rd, 2012). See also Tyndall, "The Parallel Roads of Glen Roy."
(49) Darwin, Autobiography, 84

وانظر أيضًا ملاحظات Gertrude Himmelfarb بأنَّ داروين احتاج أكثر من عشرين عامًا ليقر بخطئه. وقد ذكر داروين ذلك في مذكراته بقوله: "ارتكبت منذ البداية خطأً واحدًا من العيار الثقيل واستمر معي حتى النهاية، لأنه ليس هنالك أي تفسير آخر ممكن وفق مبلغنا الحالي من العلم، وقد حاججت لصالح فعل البحر؛ وخطئي كان درسًا جيدًا لي لئلا أثق بمبدأ الاستبعاد الفلسفي في العلم". انظر نقاش Himmelfarb في:

Darwin and the Darwinian Revolution, 107.
(50) Oosthoek, "The Parallel Roads of Glen Roy and Forestry".
(51) Darwin, "On the Origin of Species", 307.
(52) Darwin, "On the Origin of Species", 308.
(53) Agassiz, "Evolution and the Permanence of Type", 97.

(٥٤) يمكن أن نرى أن اعتراض أغاسيس كان أول اعتراض تجريبي رئيسي من خلال تعليقاته المنشورة في أماكن أخرى أيضًا، فمثلًا نجده يكتب في "Researches on the Fossil Fishes" أن: "هناك أكثر من ١٥٠٠ نوع من الأسماك التي أملكها تخبرني بأنَّ الأنواع لا تتحول لأنواع أخرى جزافا، بل إنها

تظهر وتختفي بشكلٍ غير متوقع دون أي علاقة مباشرة بأسلافها. ولذا فإنني لا أتخيل وجود ادعاء جدي بأن الأنماط الكثيرة من أسماك Cycloids و Ctenoids المعاصرة لبعضها البعض تقريبًا قد انحدرت من أسماك Placoids و Ganoids. وبالمثل، ربما يؤكد أحدهم أن صنف الثدييات بما فيها الإنسان ينحدر مباشرة من الأسماك". مقتبس في Agassiz، Louis Agassiz and Correspondence، 244 – 45.

الفصل الثاني

(1) Gould Gould, Wonderful Life, 71. A slightly different version of this story is found in Charles Schuchert, "Charles Doolittle Walcott," 124. See also Schuchert, "Charles Doolittle Walcott Paleontologist—1850–1927," 455–58

(2) Gould, Wonderful Life, 71

(3) Gould, Wonderful Life, 71–75.

(٤) تُفضل الآن فرضية وجود علاقة بعيدة بين الماريلا Marrella و chelicerates. انظر García-Bellido، C .D. و Collins، H .D.، "A New Study of Marrella Splendens (Arthropoda, Marrelomorpha) from the Middle Cambrian Burgess Shale, British Columbia, Canada"، 721 – 42، Hou، G .X.، و Bergström، J.، "Arthropods of the Lower Cambrian Chengjiang Fauna, Southwest China"، 109؛ Bergström، J.، و Hou، G .X.، "Arthropod Origins"، 323 – 34.

(٥) وصلت جهات مرجعية أخرى (مثل دوغلاس إروين Douglas Erwin من المعهد السميثسوني) لمجموع أعلى بقليل. إذ عند عدّ المجموعات التي يعتبرها علماء الأحافير "شعيبة" أو صنفًا على كونها شعبًا، يحتج أروين أن قرابة ٢٥ شعبة ظهرت أولًا، في العصر الكامبري من أصل مجموع ٣٣ شعبة معروفة في السجل الأحفوري (بطريقته في العد). [انظر Erwin et al., "The Cambrian Conundrum: Early Divergence and Later Ecological Success in the Early History of Animals," 1091–97.] وقد استخدمت طريقة محافظة أكثر بقليل لتقدير العدد الكلي للشعب التي ظهرت في العصر الكامبري. (انظر الشكل ٢. ٥). وقد وصلت للعدد الذي أتوقعه من خلال النظر في المصادر التالية:

مراجع الشعب مدرجة بنفس ترتيبها في المخطط.

• **Cnidaria**: Chen et al., "Precambrian Animal Life: Probable Developmental and Adult Cnidarian Forms from Southwest China."

• **Mollusca**: Fedonkin and Waggoner. "The Late Precambrian Fossil Kimberella Is a Mollusc-Like Bilaterian Organism."

• **Porifera**: Love, G. D. "Fossil steroids record the appearance of Demospongiae during the Cryogenian period."

• **Annelida**: Conway Morris and Peel, "The Earliest Annelids: Lower Cambrian Polychaetes from the Sirius Passet Lagerstätte, Peary Land, North Greenland."

• **Brachiopoda**: Skovsted and Holmer, "Early Cambrian Brachiopods from North-East Greenland."

• **Bryozoa**: Landing et al., "Cambrian Origin of All Skeletalized Metazoan Phyla—Discovery of Earth's Oldest Bryozoans (Upper Cambrian, southern Mexico)."

• **Chaetognatha**: Szaniawski, H. "Cambrian Chaetognaths Recognized in Burgess Shale Fossils."

• **Chordata**: Chen et al., "A Possible Early Cambrian Chordate"; Chen, "Early Crest Animals and the Insight They Provide into the Evolutionary Origin of Craniates"; Janvier, "Catching the First Fish"; Monnereau, "An Early Cambrian Craniate-Like Chordate"; Conway Morris and Caron, "Pikaia gracilens Walcott, a Stem-Group Chordate from the Middle Cambrian of British Columbia"; Sansom et al., "Non-Random Decay of Chordate Characters Causes Bias in Fossil Interpretation"; Shu et al., "An Early Cambrian Tunicate from China"; Shu et al. "Lower Cambrian Vertebrates from South China."

• **Coeloscleritophora**: Bengtson and Hou, "The Integument of Cambrian Chancelloriids."

• **Ctenophora**: Chen, J. Y. et al. “Raman Spectra of a Lower Cambrian Ctenophore Embryo from Southwestern Shaanxi, China”; Conway Morris and Collins, “Middle Cambrian Ctenophores from the Stephen Formation, British Columbia, Canada.”

• **Echinodermata**: Foote, “Paleozoic Record of Morphological Diversity in Blastozoan Echinoderms”; Shu et al., “Ancestral Echinoderms from the Chengjiang Deposits of China”; Zamora et al., “Middle Cambrian Gogiid Echinoderms from Northeast Spain: Taxonomy, Palaeoecology, and Palaeogeographic Implications.”

• **Entoprocta**: Zhang et al., “A Sclerite-Bearing Stem Group Entoproct from the Early Cambrian and Its Implications.”

• **Euarthropoda**: Cisne, J. L., “Trilobites and the Origin of Arthropods”; Daley, “The Morphology and Evolutionary Significance of the Anomalocaridids”; Grosberg, “Out on a Limb: Arthropod Origins”; Siveter, “A Phosphatocopid Crustacean with Appendages from the Lower Cambrian.”

• **Hemichordata**: Shu et al., “Reinterpretation of Yunnanozoon as the Earliest Known Hemichordate”; Shu et al., “A New Species of Yunnanozoan with Implications for Deuterostome Evolution.”

• **Hyolitha**: Malinky and Skovsted, “Hyoliths and Small Shelly Fossils from the Lower Cambrian of North-East Greenland”; note that some authors consider Hyolitha to belong to phylum Mollusca, whereas others consider Hyolitha to represent an independent phylum.

• **Lobopodia**: Liu et al., “A Large Xenusiid Lobopod with Complex Appendages from the Lower Cambrian Chengjiang Lagerstätte”; Liu et al., “Origin, Diversification, and Relationships of Cambrian Lobopods”; Liu et al., “An

Armoured Cambrian Lobopodian from China with Arthropod-Like Appendages”; Ou et al., “A Rare Onychophoran-Like Lobopodian from the Lower Cambrian Chengjiang Lagerstätte, Southwestern China, and Its Phylogenetic Implications.”

• **Loricifera**: Peel, “A Corset-Like Fossil from the Cambrian Sirius Passet Lagerstatte of North Greenland and Its Implications for Cycloneuralian Evolution.”

• **Nematomorpha**: Xian-guang and Wen-guo, “Discovery of Chengjiang Fauna at Meishucun, Jinning, Yunnan.”

• **Phoronida**: Erwin et al., “The Cambrian Conundrum: Early Divergence and Later Ecological Success in the Early History of Animals.”

• **Priapulida**: Wills et al., “The Disparity of Priapulid, Archaeopriapulid and Palaeoscolecid Worms in the Light of New Data”; Hu et al., “A New Priapulid Assemblage from the Early Cambrian Guanshan Fossil Lagerstätte of SW China.”

• **Sipuncula**: Huang et al., “Early Cambrian Sipunculan Worms from Southwest China.” Some consider sipunculan worms to be a subgroup of the phylum Annelida based on phylogenomic analyses. See Struck et al., “Phylogenomic Analyses Unravel Annelid Evolution.”

• **Tardigrada**: Muller et al., “ ‘Orsten’ Type Phosphatized Soft-Integument Preservation and a New Record from the Middle Cambrian Kuonamka Formation in Siberia.”

• **Vetulicolia**: Shu, “On the Phylum Vetulicolia.”

• **Nematoda**: Erwin et al., “The Cambrian Conundrum: Early Divergence and Later Ecological Success in the Early History of Animals.”

• **Nemertea**(?): Schram, “Pseudocoelomates and a Nemertine from the Illinois Pennsylvanian.” Note that the presence of Nemertea in the fossil record is contested.

• **Platyhelminthes**: Poinar, “A Rhabdocoel Turbellarian (Platyhelminthes, Typhloplanoida) in Baltic Amber with a Review of Fossil and Sub-Fossil Platyhelminths.”
• **Rotifera**: Swadling et al., “Fossil Rotifers and the Early Colonization of an Antarctic Lake.”
(6) Erwin and Valentine, The Cambrian Explosion, 66–70.
(7) Hennig, Phylogenetic Classification

(٨) الواقع أنَّ استخدام نظام تصنيف غير معتمِد على الرتب قد يزيد من لغز الانفجار الكامبري. قد تضم الشعبة الواحدة عدة أنماط فريدة لنسج تنظيمية، وأعضاء وأجزاء الجسد، وربما يحق لنا أن نعرف هذه الاختلافات في التنظيم بكونها مخططات جسدية مختلفة بنفس قدر التباينات التي تميز بين الشعب الأخرى. وكما قال لي أحد أنصار مقاربة التصنيف غير المعتمد على الرتب: "لماذا لا يُعتمد البطلينوس والحبار [وكلاهما ينتميان لشعبة الرخويات] بأنهما ممثلان لتشكيلات جسدية مميزة تمامًا كثلاثيات الفصوص ونجم البحر [والذين ينتميان لشعبتين مختلفتين، مفصليات الأرجل وشائكات الجلد]؟" لكن في النظام التقليدي يصنف كل من البطلينوس والحبار والعديد من الحيوانات الأخرى التي تبدي اختلافات واضحة في الشكل مع غيرها من الشعب، ضمن شعبة خاصة. ولهذا السبب فإنَّ قياس انفجارية الإشعاع الكامبري فقط من خلال الإشارة لعدد الشعب التي تظهر لأول مرة في العصر الكامبري قد يقلل في الواقع من حدة المشكلة، في حين أن الاستغناء عن المستويات التصنيفية قد يوضحها.

(٩) أضف لذلك، في عام ١٩٩٩ وجد علماء الأحافير في جنوب الصين أيضًا بقايا سمكة من العصر الكامبري. السمكة من الفقاريات وأحد أفراد شعبة الحبليات. انظر:

Shu et al., "Lower Cambrian Vertebrates from South China," 42–46; Shu et al., "Head and Backbone of the Early Cambrian Vertebrate Haikouichthys".

(10) Quoted in Yochelson, Charles Doolittle Walcott, Paleontologist, 33

(11) Gould, Wonderful Life, 49

(12) Gould, Wonderful Life, 125–36; Budd, "The Morphology of Opabinia Regalis and the Reconstruction of the Arthropod Stem-Group," 1–14.

(13) Darwin, On the Origin of Species, 307.

(14) Ward, On Methuselah's Trail, 29–30

(١٥) لم يكن تنبؤ داروين بالطبع بالمعنى الضيق حول التنبؤ بأحداث أو عمليات المستقبل. لكن علماء التأريخ يتكلمون بانتظام حول التنبؤات على أنها توقعات حول ما سنكشفه عن الماضي إن تمَّ اكتشاف الدليل.

(16) Great Canadian Parks, Yoho National Park, www.greatcanadianparks.com/bcolumbia/yohonpk/page3.htm (accessed October 23, 2012)

(17) Dawkins, Unweaving the Rainbow, 201.

(18) Darwin, On the Origin of Species, 120.

(19) Darwin, On the Origin of Species, 125.

(20) Lewin, "A Lopsided Look at Evolution," 292.

(21) Erwin, Valentine, and Sepkoski, "A Comparative Study of Diversification Events," 1183. See also Erwin et al., "The Cambrian Conundrum: Early Divergence and Later Ecological Success in the Early History of Animals," 1091–97; Bowring et al., "Calibrating Rates of Early Cambrian Evolution," 1293–98.

(22) Hennig, Phylogenetic classification, 219.

أعاد كل من Erwin و Valentine في كتابهما عام ٢٠١٣ بعنوان الانفجار الكامبري The Cambrian Explosion التأكيد على التباين المورفولوجي الظاهر منذ بداية العصر الكامبري رغم التنوع القليل ضمن النوع. كما ذكرا أنَّه منذ أن سلطا الاهتمام على النمط التنازلي للتباين السابق للتنوع في العصر الكامبري مستخدمين الأصانيف اللينوسية Linnaean categories التقليدية في عام ١٩٨٧ قام علماء الأحافير بتطوير قياسات للتباين داخل نظام التصنيف الفيلوجيني –قياسات تؤكد مجددًا على النمط ذاته ضمن نظام تصنيف غير معتمد على الرتب (٢١٧).

لشرح تقني أفضل للعمليات التي تقف خلف تشكل أحافير غضار بورجس الصفائحي انظر:

Briggs, Erwin, and Collier, The Fossils of the Burgess Shale, 21–32; Conway Morris, The Crucible of Creation, 106–107.

(23) Gould, Wonderful Life, 274–75

(24) Walcott, "Cambrian Geology and Paleontology II," 15.

(25) Gould, Wonderful Life, 108.

(26) Gould, Wonderful Life, 273.

الفصل الثالث

(1) Nash, "When Life Exploded," 66–74.

(٢) يمكن اليوم رؤية أحافير بورجس في كندا في متحف أونتاريو الملكي في تورنتو، ومتحف تيريل في Drumheller ألبرتا، ومعرض أصغر قريب من موقع بورجس في Golden بكولومبيا البريطانية.

(3) Briggs, Erwin, and Collier, Fossils of the Burgess Shale.

(4) Desmond Collins, Misadventures in the Burgess Shale, 952–53.

(٥) ذهب بعض علماء الأحافير بعيدًا؛ للاحتجاج بأنَّ الانفجار الكامبري ليس إلا تصنيفا مصطنعًا، ولذا فإنه لا يحتاج إلى التفسير. يحتج Budd و Jensen على سبيل المثال بأن مشكلة الانفجار الكامبري تحل نفسها لو حافظ أحدنا في ذهنه على التمييز السلالي بين المجموعات الجذعية والمجموعات الطرفية " "stem and "crown" groups. ونظرًا لظهور المجموعات الطرفية بإضافة الصفات الجديدة للمجموعات الجذعية السلفية والأبسط خلال العملية التطورية فستظهر شعب جديدة حتمًا بمجرد ظهور المجموعة الجذعية. ولذا –وبالنسبة لباد وجنسن، فإن ما يحتاج للشرح ليس المجموعات الطرفية الموافقة للشعب الجديدة، وإنما المجموعات الجذعية الأقدم والأقل تشعبًا والتي يفترض أنها ظهرت قديمًا في العصور ما قبل الكامبرية. ومع ذلك، ونظرًا لكون هذه المجموعات الجذعية أقل تشعبًا وفق التعريف فإنَّ شرحها سيكون (وفق نظرتهما) أسهل بشكل معتبر من شرح أصل الحيوانات الكامبرية من غير مثال سابق. على أي حال، وحسب باد وجنسن، فليس هناك ما ينتظر التفسير في انفجار الشعب الجديدة في العصر الكامبري،

وكما يقولان: "نظرًا لأن نقاط التشعب القديمة للمجموعات الكبرى هي نتيجة حتمية لتنوع هذه المجموعة، فلا نستشعر حاجة لإيجاد تفسير خاص لظاهرة نشوء الشعب باكرًا وبقائها ثابتة مورفولوجيا [Budd and Jensen, "A Critical Reappraisal of the Fossil Record of the Bilaterian Phyla," 253]

إلا أنَّ محاولة باد وجنسن لتفسير الانفجار الكامبري تصادر على أسئلة مهمة. من المقبول عند إضافة صفات جديدة للأشكال الموجودة سلفًا أن تنتج مورفولوجيا مبتكرة ويزداد التباين المورفولوجي بعد ذلك. لكن ما الذي يسبب ظهور هذه الصفات الجديدة؟ وكيف تنشأ المعلومات البيولوجية الجديدة الضرورية لإنتاج صفات جديدة؟ (انظر الفصول ٩-١٦) لا يحدد ذلك باد ولا جنسن، ولا يستطيعان القول بكيفية اشتقاق الأشكال السلفية والعمليات التي ربما تكون كافية لإنتاجها. كل ما يقولانه بدلًا من ذلك ببساطة هو افتراض كفاية بعض الآليات التطورية غير المحددة. لكن، وكما أظهرتُ في الفصول ١٠-١٦ فإنَّ هذا الافتراض إشكالي الآن. وعلى أي حال لا يشرح باد ولا جنسن أسباب نشوء الأشكال والمعلومات البيولوجية في العصر الكامبري.

(6) Cloud, "The Ship That Digs Holes in the Sea," 108. See also a history of offshore drilling on the website of the National Ocean Industries Association,http://www.noia.org/website/article.asp?id=123 (accessed July 8, 2011).

(7) Schuchert and Dunbar, Textbook of Geology, Part II, Historical Geology, 72–76, 125–30;Stokes, Essentials of Earth History: An Introduction to Historical Geology, 162–64; Zumberge,Elements of Geology, 62–67, 214–15; Dunbar, Historical Geology, 13–15, 129–33.

(8) Müller et al., "Digital Isochrons of the World’s Ocean Floor," 3212
(9) Walcott Walcott, "Cambrian Geology and Paleontology II," 2–4.
(10) Gould, Wonderful Life, 275.
(١١) اقترح البعض أيضًا وجود الأشكال الوسطية الانتقالية التي تقود إلى حيوانات الكامبري في مرحلة اليرقة فقط. انظر:
Davidson, Peterson, and Cameron, "Origin of Bilaterian Body Plans," 1319.
(12) Wray, Levinton, and Shapiro, "Molecular Evidence for Deep Pre-Cambrian Divergences Among Metazoan Phyla
وللوصول إلى تعابير أخرى من هذه النسخة من فرضية الأحافير المخادعة، انظر:
Simpson Simpson, Fossils and the History of Life, 72–74; Ward, Out of Thin Air, 5; Eldredge, The Triumph of Evolution and the Failure of Creationism, 46; and Schirber, "Skeletons in the Pre-Cambrian Closet ".

ورغم أنَّ علماء الأحافير المعاصرين ينسبون عادة غياب الأشكال السلفية ما قبل الكامبرية لفقرهم المزعوم للأجزاء الصلبة أو الحجم القابل للتقدير، إلا أن علماء أحافير وجيولوجيا سابقين وظفوا أيضًا هذه النسخة من فرضية الأحافير المخادعة. فمثلًا في عام ١٩٤١ صرَّح تشارلز سكوتشارت Charles Schuchert وكارل دونبارCarl Dunbar بالقول: "يمكننا استنتاج سعة انتشار الحياة في بحار العصور ما قبل الكامبري وخصوصًا في حقبة فجر الحياة Proterozoic، لكنها كانت متدنية المرتبة وكانت بلا أدنى شك صغيرة وطرية النسج، ولذا كان هنالك فرصة ضئيلة لحفظ هذه الأحافير واقعيًا" (Textbook of Geology, Part II, 124).ومنذ عام ١٨٩٤ جزم W. K. Brooks بالقول: " كانت السمات الحيوانية

من بدايات العصر الكامبري خصائلَ دالة على أن التقدير التقريبي للحيوانات البدائية ما دون طبقات ذلك العصر محسوم وغير قابل للخطأ، وأنها كانت حياة متمثلة فقط بحيوانات دقيقة وبسيطة السطوح ومن غير المرجح إمكانية حفظها كأحافير" (The Origin of the Oldest Fossils and the Discovery of " the Bottom of the Ocean," 360–61).

(13) Marshall Marshall, "Explaining the Cambrian 'Explosion' of Animals," 357, 372. For an authoritative refutation of this version of the artifact hypothesis, see Conway Morris, The Crucible of Creation 140-44 Conway Morris, "Darwin's Dilemma: The Realities of the Cambrian 'Explosion'," 1069-83 .

(14) Schopf and Packer, "Early Archean (3.3-Billion to 3.5-Billion-Year-Old) Microfossils from Warrawoona Group, Australia," 70; Schopf, "Microfossils of the Early Archean Apex Chert."

(15) Schopf and Packer, "Early Archean (3.3-Billion- to 3.5-Billion-Year-Old) Microfossils from Warrawoona Group, Australia," 70; Hoffmann et al., "Origin of 3.45 Ga Coniform Stromatolites in Warrawoona Group, Western Australia".

(١٦) يقول Jan Bergström: " لا يمكن أن توجد الحيوانات كمفصليات الأرجل وعضديات الأرجل من دون أجزائها الصلبة، كما يؤكد غياب البقايا الهيكلية والأصداف في العصور ما قبل الكامبرية مجيء هذه الشعب للوجود في العصر الكامبري، وليس قبله، وإن انفصلت السلالات إلى الشعب قبل العصر الكامبري" (Ideas on Early Animal Evolution, 464).

(17) Valentine and Erwin, "Interpreting Great Developmental Experiments.

(18) Valentine, "Fossil Record of the Origin of Bauplan and Its Implications," especially 215.

(19) Chen and Zhou, "Biology of the Chengjiang Fauna," 21.

(20) Chen and Zhou, "Biology of the Chengjiang Fauna," 21

أو كما يشرح فالنتاين: "إن تفسير الانفجار بكونه مظهرًا مصطنعًا لتطور الهياكل الصلبة قد قلب الاتجاه الصحيح: فالهياكلُ بشكل أو بآخر معلَمٌ للانفجار التطوري".

Valentine, On the Origin of Phyla, 181

(21) Ivantsov, "A New Reconstruction of Kimberella, a Problematic Metazoan," 3

(22) Edgecombe, "Arthropod Structure and Development," 74–75.

(23) Frederick Schram, The Crustacea.

(24) Simpson, Fossils and the History of Life, 73 .

إنَّ الهيكل الخارجي في الحقيقة أكثر بكثير من مجرد تغطية للأجزاء الطرية للقشريات أو التآشير chelicerate (على سبيل المثال) لأنَّها توفِّرُ مواقع ارتكاز العضلات ومختلف الأنسجة الأخرى. وأكثر من ذلك أن الأطراف (بما فيها الأجزاء الفموية وبعض المكونات التناسلية المحددة في بعض الحالات) تكون مغلفة بعناصر هيكلية يمكن مفصلتها بما يسمح للحيوان مفصلي الأرجل بالحركة والتغذي والتزاوج. يملك الهيكل الخارجي لأي قريدس مثلًا بروزات داخلية تشتمل على نظام الغمد الذي يوفر دعمًا للبنية الداخلية من عضلات وأعضاء. وفي الوقت نفسه فإن هيكل مفصليات الأرجل هو منتج استقلابي وفيزيولوجي لديه ويتحكم بدوره بها أيضًا. ولتنمو الأفراد الأولى من Fuxianhuia أو Marrella (وربما تتحول خلال نمائها) فربما كان عليها أن تفرز بنجاح هيكلًا جديدًا تحت الهيكل

القديم ليحل محل الهيكل الخارجي المستعمل وأن تقسي هذا الهيكل. وتقترح هذه الوظيفة المحكمة ضعف احتمال النماذج التطورية التي ترى أن الهياكل الخارجية عند مفصليات الأرجل ظهرت متأخرة كنوع من التحسين على نظام متكامل سلفًا من الأجزاء الرخوة.

(25) Brocks et al., "Archean Molecular Fossils and the Early Rise of Eukaryotes".

(26) Conway Morris, The Crucible of Creation, 47–48; Gould, "The Disparity of the Burgess Shale Arthropod Fauna and the Limits of Cladistic Analysis".

(27) Wiwaxia is considered soft-bodied, but it does have harder scales and spines. See Conway Morris, The Crucible of Creation, 97–98.

(28) Valentine, "The Macroevolution of Phyla," sec. 3.2, "Soft-Bodied Body Fossils," 529–31.

(29) Conway Morris, The Crucible of Creation, 82

(30) Conway Morris, The Crucible of Creation, 76, 99.

(31) Conway Morris, The Crucible of Creation, 68, 73, 74; "Burgess Shale Faunas and the Cambrian Explosion".

(32) Conway Morris, The Crucible of Creation, 107.

(33) Conway Morris, The Crucible of Creation, 92, 184.

(34) Conway Morris, "Burgess Shale Faunas and the Cambrian Explosion".

(35) Conway Morris, The Crucible of Creation, 103; Conway Morris, "Burgess Shale Faunas and the Cambrian Explosion".

(٣٦) أعادت ورقة علمية حديثة تفسير نيكتوكاريس كأحد الرخويات رأسية الأرجل، رغم أنَّها تقرُّ بالمشاكل المقترنة منذ مدة بالتصنيف الحاسم لهذا الحيوان. انظر: Smith and Caron, "Primitive Soft-Bodied Cephalopods from the Cambrian".

(37) Conway Morris, The Crucible of Creation, 140.

(38) Hou et al., The Cambrian Fossils of Chengjiang, China, 10

(39) Hou et al., The Cambrian Fossils of Chengjiang, China, 10, 12.

(40) Hou et al., The Cambrian Fossils of Chengjiang, China, 13.

(41) Hou et al., The Cambrian Fossils of Chengjiang, China, 10, 12.

(42) Hou et al., The Cambrian Fossils of Chengjiang, China, 23.

(43) Bergström and Hou, "Chengjiang Arthropods and Their Bearing on Early ArthropodEvolution," 152 .

(٤٤) تؤكد أحافير بورجس من العصر الكامبري الأوسط (٥١٥ مليون سنة مضت) أنَّ العديد من هذه الكائنات الكامبرية طرية الجسم بالكامل قد عاشت لفترة طويلة وبانتشار جغرافي واسع.

(45) Chen et al., "Weng'an Biota"; Chien et al., "SEM Observation of Precambrian Sponge Embryos from Southern China."

(46) Chen et al., The Chengjiang Biota: A Unique Window of the Cambrian Explosion.

هذا الكتاب متاح حاليًا فقط باللغة الصينية. والنسخة الإنجليزية بترجمة Paul K. Chien، من جامعة سان فرانسيسكو.

(47) Chen et al., "Weng'an Biota"; Chien et al., "SEM Observation of Precambrian Sponge Embryos from Southern China ".

(٤٨) ولتفسيرات أخرى بديلة انظر:

Huldtgren et al., "Fossilized Nuclei and Germination Structures Identify Ediacaran 'Animal Embryos' as Encysting Protists," 1696–99; Xiao et al",.Comment on 'Fossilized Nuclei and Germination Structures Identify Ediacaran 'Animal Embryos' as Encysting Protists'," 1169; Huldtgren et al., "Response to Comment on 'Fossilized Nuclei and Germination Structures Identify Ediacaran 'Animal Embryos' as Encysting Protists'," 1169.

(49) Erwin and Valentine, The Cambrian Explosion, 778

(50) Chien et al., "SEM Observation of Precambrian Sponge Embryos from Southern China ".

يفترض معظم علماء البيولوجيا التطورية أنَّ الإسفنجيات تمثل سلسلة جانبية وليس عقدة في شجرة الحياة التطورية التي تقود إلى الشعب الكامبرية، ولذا لا تعتبر الإسفنجيات وسائط انتقالية محتملة بين أشكال العصر الكامبري وما قبل الكامبري (كما أنها لا تعتبر سلفًا لأي من الحيوانات الكامبرية).

(٥١) تحدى البعض التفسير القائل بأن هذه الأحافير الميكروية ماهي إلا أجنة، محتجًا بأنها كائنات ميكروية كبيرة. فمثلًا، تحتج Therese Huldtgren وزملاؤها بأن هذه الأحافير "تملك سمات لا تتفق مع أجنة التوالي متعددة الخلايا" وبأن "الطراز النمائي أقرب للمقارنة مع غير التوالي حيوانية التغذية" وهي مجموعة تشمل الأوالي وحيدة الخلية. [Huldtgren et al., "Fossilized Nuclei and

Germination Structures Identify Ediacaran ‘Animal Embryos’ as Encysting Protists," 1696–99.]

يظن ناقدو أطروحة هلدتجرن بدلًا من ذلك أن هذه الأحافير يمكن أن تكون أجنة توالي صغيرة، رغم الجهل بصلة الارتباط. [Xiao et al., "Comment on ‘Fossilized Nuclei and Germination StructuresIdentify Ediacaran ‘Animal Embryos’ as Encysting Protists’," 1169. Huldtgren and colleagues have defended their interpretation here: Huldtgren et al., "Response to Comment on ‘Fossilized Nuclei and Germination Structures Identify Ediacaran "Animal Embryos" as Encysting Protists’," 1169.] وهناك تفسير آخر بأنَّ الأحافير تُمثِّلُ جراثيم كبريتية عملاقة، لأن "الجراثيم الكبريتية من جنس Thiomargarita تملك أحجامًا ومورفولوجيا مشابهة للتي تملكها العديد من أحافير Doushantuo الميكروية، بما في ذلك العناقيد الخلوية المتناظرة التي تنتج عن مراحل متعددة من الانقسام المختزل في ثلاث مستويات". [Bailey et al., "Evidence of giant sulphur bacteria in Neoproterozoic phosphorites,"١٩٨–٢٠١.] في حين أنّ نقاد هذه الفرضية يشككون بأن تكون الجراثيم الكبريتية قادرة على التحجر؛ لأنها "تتهشم بسهولة وليس لها سوى غلاف حيوي غير مكتمل محدود بالغلاف متعدد الطبقات". [Cunningham et al., "Experimental taphonomy of giant sulphur bacteria: implications for the interpretation of the embryo-like Ediacaran Doushantuo fossils," 1857–64.]

لا بد وأن يستمر الجدل الدائر حول ما إذا كانت أحافير دو–شان–تو الميكروية هي أجنة أحد التوالي أو أنه أحد الأوالي أو أنه جراثيم كبريتية. وأيًا تكن النتيجة، فستستمر الحقيقة: كائنات حية صغيرة هشة طرية الأجساد من نوع ما وجدت

متحجرة في الطبقات ما قبل الكامبرية بما يطرح سؤالًا عن سبب عجز نفس الطبقات الصخرية عن حفظ الأسلاف المباشرة للعدد الكبير من الشعب التي ظهرت فجأة في الطبقات الكامبرية فوقها.

(٥٢) بالمثل، نادرًا ما يجد علماء الأحافير بقايا الطفيليات الي تعيش في الأنسجة الرخوة لكائنات أخرى (في الواقع، تمثل الكائنات الحية الطفيلية عددًا من الشعب التي لا تملك سجلًا أحفوريًا). وكما هو مذكور، فإنَّ السجل الجيولوجي يحفظ فعلًا الأنسجة الطرية، ولكن بشكلٍ غير متكرر. وعندما يقوم بذلك، سيحرص الباحثون (المحظوظون بإيجاد هذه الأحافير) على الحفاظ على العينات من التخريب (والتي هي أعضاء من نسج رخوة) بما يمنعهم من اختبارها بحثًا عن بقايا عدوى طفيلية أو آثار استعمار. ليس من المدهش بالتالي ألا يجد علماء الأحافير بقايا العديد من الكائنات الحية الطفيلية في السجل الأحفوري.

(53) The Emergence of Animals, 91. This point is also based on personal conversation with Professor (Mark) McMenamin

(54) Erwin and Valentine, The Cambrian Explosion, 8.

(55) Foote, "Sampling, Taxonomic Description, and Our Evolving Knowledge of Morphological Diversity," 181 .

وصل علماء أحافير إحصائيون آخرون (مايكل جي بنتون Michael J. Benton, وزملاؤه) لنتيجة مماثلة. وذكروا أنه: "إذا ما قورنت ... من حيث المستوى التصنيفي للفصيلة [وما فوقها] فإن ٥٤٠ مليون سنة الماضية من السجل الأحفوري توفر توثيقًا جيدًا ومتسقًا للحياة الماضية" (Benton Benton, Wills, and Hitchin, "Quality of the Fossil Record Through Time," 534). وفي مقالة أخرى كتب بنتون أيضًا: "قد يحتج أحدهم بوجود أحافير تنتظر من يكتشفها، ومن السهل إهمال السجل الأحفوري بكونه ناقصًا بشكل حاد ولا

يمكن التنبؤ به. على سبيل المثال، هنالك مجموعات معينة من الكائنات الحية لا يُعرف لها وجود في الأحافير تقريبا... لا يمكن الرد على هذا النمط من الحجة نهائيًا. لكن يمكننا عمل حجة مبنية على المجهود. لا زال علماء الأحافير يبحثون عن الأحافير لسنين ولكن القليل تغير منذ عام ١٨٥٩ بينما افترض داروين أن السجل الأحفوري سيكشف لنا عن نمط تاريخ الحياة". (" Early Origins of Modern Birds and Mammals," 1046).

(56) Foote, "Sampling Taxonomic Description, and Our Evolving Knowledge of Morphological Diversity," 181

عليّ أن أذكر وجود سبيل واحد يجعل من مثالي حول الكرات الملونة في البرميل فاشلًا في مجاراة طبيعة التحدي الذي يفرضه انقطاع الأحافير الكامبرية، فإن حصلتَ أخيرًا بعد سحب العينات من البرميل لوهلة على كرة برتقالية وخضراء إلى جانب أكوام الكرات الحمراء والزرقاء والصفراء، فلن يكون لديك الكثير من الثقة بأنَّ البرميل يحتوي طيفًا من ألوان الكرات تتدرج بدقة من واحد إلى آخر. ومع ذلك، فإنك لا زلت قادرًا على القول بأن الكرات البرتقالية تقف بين الكرات الصفراء والحمراء، وأن الكرات الخضراء تقف بين الكرات الزرقاء والصفراء (كالقول بأنها هجين ناتج عن نباتين). لكن لا يُنظر للعديد من الأشكال الحيوانية الكامبرية الجديدة المكتشفة منذ زمن داروين كوسائط بين الأشكال الحيوانية المعروفة سابقًا والتي تمثل الشعب المعروفة، إذ ليست هي الوسائط التطورية بين الشعب الموجودة وغيرها، بل يعتبرها العلماء كموجودات في الفضاء المورفولوجي، وهي لا تمثل وسائط وإنما شعبًا بحد ذاتها، وتحتاج لأشكال وسيطة قبلها –تقريبًا كما لو أننا اكتشفنا لونًا جديدًا أساسيًا (بتوسيع مثالنا السابق).

(57) Erwin et al., "The Cambrian Conundrum: Early Divergence and Later Ecological Success in the Early History of Animals," 1091–97.

(58) Bowring et al., "Calibrating Rates of Early Cambrian Evolution.

(59) Bowring et al., "Calibrating Rates of Early Cambrian Evolution," 1297

(60) Lili, "Traditional Theory of Evolution Challenged," 10.

(٦١) يُظن بوجود بضعة ناجين من الحيوانات الإيديكارانية. فمثلًا، Thaumaptilon المبهم ورقي الشكل والمكتشف في غضار بورجس الصفائحي ربما يكون أحد السلالات المنحدرة من الأوراق الإديكارانية، رغم أن هذا محل نزاع.

Jensen et al., "Ediacara-Type Fossils Cambrian Sediment," 567–69; Conway Morris, "Ediacaran-like Fossils in Cambrian Burgess Shale-Type Faunas of North America," 593-635.

(62) Bowring et al., "Calibrating Rates of Early Cambrian Evolution," 1297. also McMenamin, The Emergence of Animals.

(63) Erwin et al., "The Cambrian Conundrum: Early Divergence and Later Ecological Success in the Early History of Animals," 1091–97.

(64) Shu et al., "Lower Cambrian Vertebrates from South China."

(65) Chen et al., "A Possible Early Cambrian Chordate"; Chen and Li, "Early Cambrian Chordate from Chengjiang, China"; Dzik, "Yunnanozoon and the Ancestry of Chordates ".

لكن لاحظ أن التأكيد على أن حيوانات يونان هي حبليات هو موضع نزاع حاليًا. انظر Shu, Zhang, and Chen, "Reinterpretation of Yunnanozoon as the Earliest Known Hemichordate"; Shu, Morris, and Zhang, "A Pikaia-like Chordate from the Lower Cambrian of China."

وقد وجد علماء الأحافير أيضًا عينة واحدة لحبليات رأسية (Cathaymyrus)، من التشكيل الكامبري الأدنى المسمى Qiongzhusi قرب تشينغ جيانغ. وعليه تمَّ تحدي مكانة Cathaymyrus كأحد التصانيف الصالحة؛ ويجادل بعض علماء الأحافير بأن العينة الوحيدة من Cathaymyrus ربما تكون حقًا من حيوانات يونان ولكنها مضغوطة من الظهر إلى البطن. انظر Chen and Li, "Early Cambrian Chordate from Chengjiang, China."

(66) Chen, Huang, and Li, "An Early Cambrian Craniate-like Chordate," 518

(67) Shu et al., "Lower Cambrian Vertebrates from South China."

(68) Shu et al., "An Early Cambrian Tunicate from China ".

(٦٩) تمثل الحبليات المكتشفة في الطبقات الكامبرية قرب تشنغ جيانغ فقط واحدة من العديد من المخططات الجسدية الجديدة الموجودة هناك، وقد صنف البعض منها على أنها شعب، في حين احتل بعضها الآخر مكانة تحت شعب أو أصناف أو فصائل ضمن الشعب الموجودة. فمثلًا، يصنف علماء الأحافير Occacaris oviformis (حيوان دائري شبيه بالبيضة ذي بنية شبيهة بالملقط الكبير، كعضو في الشعبة المعروفة جيدًا باسم مفصليات الأرجل. [Hou et al., The Cambrian Fossils of Chengjiang, China, 130.] إلا أن Occacaris والتي وجدت فقط في غضار ماو-تيان-شان تبدي بوضوح طريقة

مميزة لترتيب الأعضاء والنسج –طريقة تختلف عن كل مفصليات الأرجل المعروفة خارج مجموعة أحياء تشينغ جيانغ. وهي تمثل (وهذا موضع جدل) مخططًا جسديًا مميزًا. اكتشف علماء الأحافير الصينيون في حالات أخرى حيوانات لها مثل هذه المورفولوجيات غير الاعتيادية والتي لم يكن ممكنا تصنيفها ضمن أي من الشعب المعروفة. هذه الإشكاليات (كال Batofasciculus ramificans الغامض والحيوان الشبيه بالصبار والذي يأخذ شكل منطاد حراري قد منحت أسماء أنواع وأجناس، ولكن لم تمنح أي تقييم شعبي خاص، رغم أنها تمثل وبكل وضوح مخططًا جسديًا مميزًا. [Hou et al., The Cambrian Fossils of Chengjiang, China, 196.] ونظرًا لكون هذه الصعوبة في تصنيف الكائنات الحية لا تزيد العدد الرسمي للشعب الجديدة التي ظهرت لأول مرة في العصر الكامبري، إلا أنها كثيرًا ما تعرض مخططات جسدية مبتكرة.

الفصل الرابع

(1) Gradstein, Ogg, Schmitz, and Ogg, The Geological Time Scale 2012.

(2) Grotzinger et al., "Biostratigraphic and Geochronologic Constraints on Early Animal Evolution." A few Ediacarans may have survived until the middle Cambrian. See Conway Morris,"Ediacaran-like Fossils in Cambrian Burgess Shale-Type Faunas of North America".

(3) Monastersky, "Ancient Animal Sheds False Identity".

(4) Monastersky, "Ancient Animal Sheds False Identity".

(5) Monastersky, "Ancient Animal Sheds False Identity".

(6) Fedonkin and Waggoner, "The Late Precambrian Fossil Kimberella is a Mollusc-like Bilaterian Organism," 868.

(٧) على سبيل المثال؛ عبّر Graham Bud، عالم الأحافير والخبير الكامبري السويدي، عن الشكوكية التي تعتري تصنيفه. إنه يقرُّ بأن "الإثبات الأقوى لوجود كائن إدياكاري متناظر الجانبين هو أحفورة Kimberella التي اكتشفها كل من Fedonkin and Waggoner عام 1997"، لكنه في المقابل يفند تصنيف الـ Kimberella كرخوي حقيقي. ويجادل بأن "الـ Kimberella لا تمتلك أي خصيصة مميزة للرخويات، وتصنيفها مع الرخويات (أو مع متناظرات الجانبين) يعتبر أمرًا غير مثبت" (Budd and Jensen, "A Critical Reappraisal of the Fossil Record of the Bilaterian Phyla," 270).

(٨) هناك سبب آخر يبرر عدم نسبة الأحافير الإيدياكارية للشعب الحيوانية بشكل قاطع، ألا وهو خشونة حبيبات الطبقات الأرضية (بحجم حب القمح) التي يوجدون

بها. وتفاصيل الشكل الجسمي غامضة لدرجة لا تسمح باتخاذ قرار واضح، وستبقى هذه الأحافير "معضلة" ريثما نجد وسائل تحليل أفضل أو طبقات أحفورية جديدة بملمس أقل خشونة، ولن يمكن لحينها التوصل إلى قرار واضح حولها. انظر Miklos, "Emergence of Organizational Complexities During Metazoan Evolution." See also Bergström, "Metazoan Evolution Around the Precambrian–Cambrian Transition."

(٩) Retallack, "Growth, Decay and Burial Compaction of Dickinsonia," 215. ، كما يكمل ريتالاك في شرحه: "الDickinsonia، مثل الفطريات والأشنات، كانت مرتبطة بقوة بركيزتها، متشبثة بالأرض، مرنة قليلًا، و مقاومة كثيرًا للدفن تحت الطبقات الرسوبية." ٢٣٦.

(10) Glaessner, The Dawn of Animal Life, 122.

(11) Birket-Smith, "A Reconstruction of the Pre-Cambrian Spriggina," 237–58 .

(12) Glaessner, The Dawn of Animal Life, 122 .

(13) Glaessner, The Dawn of Animal Life, 122.

(14) McMenamin, "Spriggina Is a Trilobitoid Ecdysozoan," 105.

(15) Glaessner, The Dawn of Animal Life, 122–23. McMenamin, The Emergence of Animals, 20,24,118 ,

(١٦) بالإضافة إلى ذلك، تصوير حديث لكائن إدياكاري يشب Spriggina، يدعى Yorgia قام به الخبير الإدياكاري أندري إيفانتسوف Andrey Ivantsov، يظهر أنَّها تملك حافة أملس من أجسام ثلاثيات الفصوص ولكن بلا أشواك بارزة. تبدو إعادة التصوّر الذي قام به إيفانتسوف وكأنه يرسخ تحولًا في الرأي حول اعتبار الكائنات الشبيهة بـ Spriggina مفصليات أساسية لامتلاكها خصائص مفصلية

مميزة (كالأشواك الشدقية) Ivantsov, "Giant Traces of Vendian Animals." See also Ivantsov, "Vendia and Other Precambrian Arthropods'.

(17) Brasier and Antcliffe, "Dickinsonia from Ediacara," 312 .

(18) Brasier and Antcliffe, "Dickinsonia from Ediacara," 312. Ivantsov, "Vendia and other Precambrian 'Arthropods " '.

(19) "Asymmetry in the Fossil Record," 137 .

(20) Erwin, Valentine, and Jablonski, "The Origin of Animal Body Plans," 132

(21) Erwin, Valentine, and Jablonski, "The Origin of Animal Body Plans," 132

(22) Erwin, Valentine, and Jablonski, "The Origin of Animal Body Plans," 132

(23) Cooper and Fortey, "Evolutionary Explosions and the Phylogenetic Fuse," 151–56.

(24) Fortey, "Cambrian Explosion Exploded," 438

(25) Knoll and Carroll, "Early Animal Evolution," 2129.

(26) Ward, On Methuselah's Trail, 36

(27) "Life on Land," 153–54.

مؤخرًا قام Gregory Retallack بنشر نظرية مثيرة للجدل حول الحيوانات الإدياكارية. درس ريتالاك البيئات الرسوبية لأحافير إدياكارية رئيسية كالـ Dickinsonia، وخلص إلى أن هذه الكائنات لا ينبغي أن تصنف كحيوانات بحرية، لأنها ترسبت على اليابسة. ووفقًا لريتالاك فإنَّ الصخور التي حملت هذه الأحافير الإدياكارية "تملك مجموعة متنوعة من الخصائص الأشبه بقشرة التربة الحيوية الصحراوية والسهول القطبية الجرداء، بدلًا من الأغطية الميكروبية المميهة

hydrated ذات التجعيدات المتوازية والتموجات، والتي توجد في مناطق المد البحري و البحار الضحلة" [Retallack, "Ediacaran Life on Land," 89.].

لكن تلقى خبراء العصر الإدياكاري الآخرون نظرية ريتالاك ببرود. إذ أنهم لم يشككوا بتحليله للأحافير القديمة فحسب، وإنما أشاروا إلى أن الأشكال الإدياكارية التي حللها من أستراليا محفوظة أيضًا في طبقات رسوبية بحرية واضحة (من جزيرة نيو فاوندلاند على سبيل المثال) وأنه من غير الممكن أن تعيش الكائنات نفسها على اليابسة وفي البحر في آن معًا [Callow, Brasier, Mcilroy, "Discussion: 'Were the Ediacaran siliciclastics of South Australia coastal or deep marine?''' 1–3.]

(28) Erwin et al., "The Cambrian Conundrum."

ويؤمن آخرون بأن هذه السكك الدودية ما قبل الكامبرية ناتجة عن فعل وحيدات خلية ضخمة، انظر:

Matz et al., "Giant Deep-Sea Protist Produces Bilaterian-like Traces," 1849–54 .

(29) Valentine, Erwin, and Jablonski, "Developmental Evolution of Metazoan Body Plans Runnegar, "Evolution of the Earliest Animals;"".

(30) Runnegar, "Proterozoic Eukaryotes"; Gehling, "The Case for Ediacaran Fossil Roots to the Metazoan Tree

(31) Budd and Jensen, "A Critical Reappraisal of the Fossil Record of the Bilaterian Phyla," 270.

(32) See Matz et al., "Giant Deep-Sea Protist Produces Bilaterian-like Traces".

(33) Erwin et al., "The Cambrian Conundrum".

(34) Sperling, Pisani, and Peterson, "Poriferan paraphyly and Its Implications for Precambrian Palaeobiology"; Erwin and Valentine, The Cambrian Explosion, 80 .

(35) Conway Morris, "Evolution: Bringing Molecules into the Fold," 5.

(36) McMenamin and McMenamin, The Emergence of Animals, 167–68.

(37) Peterson et al., "The Ediacaran Emergence of Bilaterians".

(٣٨) Shen et al., "The Avalon Explosion," 81.

(٣٩) See, e.g., Cooper and Fortey, "Evolutionary Explosions and the Phylogenetic Fuse." تتميز الحقبة الكامبرية (٥٤٣ مليون سنة مضت) بظهور أحافير صدفية صغيرة تتكون من الأنابيب والمخاريط، وربما بعض الأشواك والقشور الخاصة بحيوانات أكبر. تزداد هذه الأحافير (بالإضافة إلى الأحافير الآثارية) عددًا وتنوعًا كلما صعدنا في الطبقات الرسوبية الكامبرية الأولى. (the Manykaian Stage, 543–530 mya).

(40) Bowring et al., "Calibrating Rates of Early Cambrian Evolution," 1293–98; Erwin et al., "The Cambrian Conundrum: Early Divergence and Later Ecological Success in the Early History of Animals," 1091–97.

(41) Meyer et al., "The Cambrian Explosion: Biology's Big Bang," 323–402.

(٤٢) Valentine, "Prelude to the Cambrian Explosion," 289.

(٤٣) توصف تقنيًا الحيوانات ذات التناظر الخماسي الممتد من تجويف جسمي مركزي بأنها حيوانات خماسية الأجزاء شعاعية التناظر.

(٤٤) Budd and Jensen, "A Critical Reappraisal of the Fossil Record of the Bilaterian Phyla," 261. ، كما يشرح Budd and Jensen بتفصيل أكبر: "على الرغم من أنَّ هذه الأحفورة تمتلك تناظرًا شعاعيًا خماسيًا، فإنَّ حجمها الصغير وحفظها في الرمال الخشنة نسبيًا، يعنيان أن خصائص الشوكيات الأخرى ليست ظاهرة بسهولة. ويعتمد إذًا تصنيفها مع الشوكيات بشكل كبير على هذه الخاصية الوحيدة، ويجب اعتباره سؤالًا مفتوحًا للبحث الآن" (٢٦١)

(45) Valentine, On the Origin of Phyla, 287, 397.

(46) Bottjer, "The Early Evolution of Animals," 47.

(٤٧) القراصيات والممشطيات على سبيل المثال، متناظرة شعاعيًا. وقد يظن المرء بأن الشوكيات، التي تمتلك الاشكالُ البالغة منها تناظرا شعاعيًا خماسيًا، ليست من متناظرات الجانبين، "ولكنها متناظرة الجانبين في مراحل مبكرة من تطورها"، ولذا فإنها مصنفة مع متناظرات الجانبين. للمزيد انظر: Valentine, On the Origin of Phyla, 391.

(48) Bengtson and Budd, "Comment on 'Small Bilaterian Fossils from 40 to 55 Million Years Before the Cambrian," 1291a.

(٤٩) يشرح Bengtson و Budd: "تمثل العينات التي عرضها Chen وزملاؤه نمطًا شائعًا لحفظ الأحافير الميكروية في الرسوبات الفوسفاتية، بما فيها الخاصة بـ Doushantuo"، إذ يقولان بالتحديد: "للطبقات نمط منتظم من الألوان والسماكة، ويختلف هذا النمط بين العينات المختلفة ويتسق ضمن النوع نفسه من العينات"، ثم يجادلان: "يعارض هذا النمط التفسيرَ البيولوجي، ولكنه يُفسَّر بسهولة

على أنه تمثيل لجيلين أو ثلاثة من فرط النمو التصلدي diagenetic overgrowth". ويقولان أيضًا: " بدلًا من الانطواء المتعرج –كما هو متوقع من الطبقات النسيجية المشوهة– تُظهر الطبقات خصائص نموذجية للقشور التصلدية غير العضوية. ويستنتجان أنه رغم احتوائها على بقايا أحافير دقيقة لكائنات حقيقية النواة، "إلا أنَّ إعادة تصويرها ككائنات متناظرة الجانبين ما هو إلا نتيجة مزيفة ولدتها تجويفات مغطاة بقشور تصلدية، وإن مظهر الأحافير الآن لا يشابه الكائنات الحية الأصلية التي تعود إليها إلا قليلًا. (من مقال: " Comment on ‘Small Bilaterian Fossils from 40 to 55 Million Years Before the Cambrian,’" 1291a).

(50) Bengtson et al., "A Merciful Death for the ‘Earliest Bilaterian,’ Vernanimalcula," 421.

(51) Bottjer, "The Early Evolution of Animals," 47.

(52) Bengtson et al., "A Merciful Death for the ‘Earliest Bilaterian,’ Vernanimalcula," 426.

(53) Bengtson et al., "A Merciful Death for the ‘Earliest Bilaterian,’ Vernanimalcula," 426.

(54) Marshall and Valentine, "The Importance of Preadapted Genomes in the Origin of the Animal Bodyplans and the Cambrian Explosion," 1190, emphasis added.

(55) Budd and Jensen, "The Limitations of the Fossil Record and the Dating of the Origin of the Bilateria," 183.

(56) Budd and Jensen, "The Limitations of the Fossil Record and the Dating of the Origin of the Bilateria," 168.

الفصل الخامس

(1) Dawkins, The Greatest Show on Earth, 111.

(٢) طبقًا ل Zvelebil و Baum: "وضع الافتراض الأساسي عند بناء شجرة تطور السلالات بأن كل مجموعة من التسلسلات مشتقة جميعًا من تسلسل سلفي واحد، أي أنها متناظرة homologous"، (Understanding Bioinformatics،239)، وذكر Lecointre و Le Guyader أن: "من الممكن أن يواجه أنصار الكلاديستيك صعوبات في تطبيقاتها إذ ليست جميع الصفات متناظرة بالضرورة، حيث إن بعض التشابهات نتجت بالتقارب – أي بالتطور المستقل– ولا يمكننا اكتشاف هذه التقاربات بشكلٍ مباشر دومًا، ووجودها قد يتعارض مع تشابهات أخرى (التناظرات الحقيقية) التي ننتظر معرفتها، ولذا فنحن ملزمون في المقام الأول أن نفترض لكل خاصية أن التشابه هو تناظر، بغض النظر عن نشوئها بالتقارب". (The Tree of Life, 16).

(3) Coyne, Why Evolution Is True, 10

(4) Budd and Jensen, "A Critical Reappraisal of the Fossil Record of the Bilaterian Phyla," 253–95; Budd and Jensen, "The Limitations of the Fossil Record and the Dating of the Origin of the Bilateria," 166–89.

("يتوقع النمط الدارويني وجود أحافير قديمة عميقة تخص متناظرات الجانبين وتُظهر تطورًا تدريجيًا، وتمتد لمئات ملايين السنين ما قبل الكامبرية، ولكنه فشل بشكل استثنائي في إثبات وجوده ... فمهما كانت الحلول المطروحة لإزالة الخلاف بين السجل الأحفوري والدليل الجزيئي على نشوء الحيوانات، فلن يحل الخلاف بفهم خطأ للسجل الأحفوري المعروف ... لقد كان فهم السجل الأحفوري

المعروف صحيحًا، ولا وجود لأحافير يرشح أن تكون لأحد متناظرات الجانبين بشكل مقنع في السجل الأحفوري إلى أن نقترب زمنيًا من العصر الكامبري –حوالي 543 مليون سنة مضت– رغم وجود الكثير من الرسوبيات الأقدم، والتي يجب أن تحفظها").

Jensen et al., "Trace fossil preservation and the early evolution of animals," 19–29.

(تقترح القراءة الحرفية لمتن السجل الأحفوري أن تنوع الحيوانات متناظرة الجانبين لم يسبق على نحو مهم الحدود الزمنية الفاصلة بين حقبة الطلائع الحديثة Neoproterozoic والعصر الكامبري (حوالي 545مليون سنة مضت) ... وبغض النظر عن التقارير المناقضة، فليس هناك تقبل لفكرة وجود أي سجل أحفوري آثاري في الترسبات الأقدم من ٥٦٠–٥٥٥ مليون عام ... تضع النتيجة السابقة قيودًا مهمة على وقت ظهور متناظرات الجانبين. على سبيل المثال، بافتراض أن السمات الأساسية لمتناظرات الجانبين يمكنها فقط أن تظهر في كائنات القاع متوسطة الحجم، فإن غياب السجل الأحفوري الآثاري القديم يقترح صحة حقيقة الانفجار الكامبري وفق مفهوم سرعة الظهور النسبية والتنوع العياني لمتناظرات الجانبين")

Conway Morris, "Darwin’s Dilemma: The Realities of the Cambrian ‘Explosion’," 1069–83 .

(تقول "مدرسة التطور القديم" بقدم تطور الحيوانات قبل مدة طويلة من العصر الكامبري، وأن "الانفجار" ببساطة ما هو إلا مظهر مزيف تولد عن اختراق العتبات التافونومية، كبدء التمعدن الحيوي و/أو الزيادة المفاجئة في حجم الجسم. بينما تقترح "المدرسة الواقعية" البديلة، والتي أنتمي إليها إلى حد كبير، أن السجل

الأحفوري بعيد عن الكمال، ووقع فيه تحريف مهم بكل تأكيد، لكن ذلك لا يكفي لتدمير إشارة تاريخية بهذه القوة")

Peterson et al., "MicroRNAs and Metazoan Macroevolution: Insights intoCanalization, Complexity, and the Cambrian Explosion," 736–47; Fortey, "The Cambrian Explosion Exploded?" 438–39; Wray et al., "Molecular Evidence for Deep Precambrian Divergences Among Metazoan Phyla," 568–73.

(أدرك داروين التحدي الذي يطرحه الظهور المفاجئ للأحافير الحيوانية في الحقبة الكامبرية لنظريته عن الانتقاء الطبيعي، فاقترح إمكانية عثورنا في النهاية على أحافير توثق التطور الكامبري للتوالي metazoan بشكل جليّ ومستمر. لا يفسر العديد من علماء الأحافير اليوم غياب الأحافير الحيوانية ما قبل الكامبرية والتي يمكن أن تعزى إلى عدة كلاد منقرضة بسوء حفظها، بل كدليل على النشوء الكامبري أو الفِندي المتأخر، وتفرع شعب التوالي، وهو ما سيجعل العصر الكامبري أعظم بزوغ تطوري في تاريخ الأرض. لقد عثر على ممثلي كل الشعب الحيوانية سهلة التحجر (مع استثناء شعبة المرجانيات) في الصخور الكامبرية، كما عثر على ممثلين عن العديد من شعب الحيوانات ذات الأجسام الطرية. وعززت العديد من الدراسات الجيولوجية الحديثة انطباع الانفجار التطوري الحيواني الكبير من خلال تضييق النافذة الزمنية التي ظهرت فيها التشعبات فقط لتصير ملايين قليلة فقط من السنين")

Erwin et al., "The Cambrian Conundrum: Early Divergence and Later Ecological Success in the Early History of Animals," 1091–97

(عندما نشر داروين أصل الأنواع (١)، كان الظهور المفاجئ للأحافير الحيوانية في السجل الصخري أحد أهم الحقائق المزعجة التي أجبر على الاعتراف بها. فقد

كتب: "أواجه صعوبة أخرى وأخطر، أقصد الأسلوب المفاجئ الذي ظهرت فيه العديد من الأنواع من ذات المجموعة في أدنى الصخور الأحفورية المعروفة" (٣٠٦). وجادل داروين بأنَّ التقطع في السجل الأحفوري يعطي وهما بالأحداث الانفجارية، ولكن مع الاكتشاف الكامل للصخور الأقدم والمحفوظة بشكلٍ جيد، سنكتشف أسلاف تلك التصانيف الكامبرية. لاتزال الدراسات الإيدياكارية والكامبرية توسع التنوع المورفولوجي للفروع الحيوية المختلفة، ولكن يبقى ظهور بقايا وآثار الحيوانات متناظرة الجانبين في العصر الكامبري مفاجئًا").

(٥) كما شرح Alan Cooper و Richard Fortey: "يشير الدليل الجزيئي إلى أنَّ العصور المديدة من الإبداع التطوري وتخلق الفروع cladogenesis أشعلت فتيل الاندماج قبل بدء الانفجار الظاهري في السجل الأحفوري.

"Evolutionary Explosions and the Phylogenetic Fuse," 151.

وطبقًا ل Welch و Fontanillas و Bromha أيضًا: "أن الكثير من دراسات التأريخ الجزيئي قد اقترحت ظهور السلالات الحيوانية الأساسية قبل زمن طويل من العصر الكامبري، قبل ٦٣٠ مليون عام خلى، وهذا يطرح احتمال وجود فترة سرية في الحقبة التطورية الحيوانية سبقت الانفجار الأحفوري في العصر الكامبري" ("Molecular Dates for the ‘Cambrian Explosion,’" 672–73).

(٦) "الساعة الجزيئية...هي الافتراض بأنَّ السلالات قد تطورت بمعدلات متساوية". (Felsenstein, Inferring Phylogenies, 118).

(7) Smith and Peterson, "Dating the Time and Origin of Major Clades," 72.

(8) Wray, Levinton, and Shapiro, "Molecular Evidence for Deep Precambrian Divergences Among Metazoan Phyla."

(٩) ومن أجل دراسة أخرى مشابهة لبيانات التسلسلات الجزيئية والتي توصلت لذات النتيجة انظر:

Wang, Kumar, and Hedges, "Divergence Time Estimates for the Early History of Animal Phyla and the Origin of Plants, Animals and Fungi," 163; see also Vermeij, "Animal Origins"; Fortey, Briggs, and Wills, "The Cambrian Evolutionary ‘Explosion’ Recalibrated."

كانت تلك البروتينات هي ATP-ase، سيتوكروم C، سيتوكروم أكسيداز I و II، هيموغلوبين ألفا وبيتا، و NADH I.

(١٠) الرنا الريبوزومي الذي استخدموه هو 18S rRNA.

(١١) تلك البروتينات هي ألدولاز، ميثيونين أدنيل ترانسفيراز، والسلسلة بيتا من ATP سينتاز، وكاتالاز، وعامل الإطالة ١ ألفا، و تريوزفوسفات إيزوميراز، و فوسفوفروكتو كيناز.

(١٢) كانت جزيئات الRNA الثلاثة المستخدمة هي 5.8S rRNA و 18S rRNA و 28S rRNA.

(13) Erwin et al., "The Cambrian Conundrum," 1092.

(١٤) على سبيل المثال، وجد Bromham وزملاؤه أن الدنا الميتوكوندري وبيانات ال 18S rRNA قد أنتجت تواريخ بتباين يفوق مليار سنة. ("Testing the Cambrian Explosion Hypothesis by Using a Molecular Dating Technique")؛ واقترح Xun أن فحص ٢٢ جينة نووية أعطى زمنًا للافتراق بين ذبابة الخل والفقاريات يقدر بحوالي ٨٣٠ مليون عام. ("Early Metazoan Divergence Was About 830 Million Years Ago") وأرخ Doolittle وزملاؤه تشعب مَسَمِّيات الفَم- ثُنائِيات الفَم منذ حوالي ٦٧٠ مليون

عام ("Determining Divergence Times of the Major Kingdoms of Living Organisms with a Protein Clock")؛ وأرخ Nikoh وزملاؤه تاريخ انفصال التَّوالِي الحَقيقِيَّة eumetazoa والشَّوالِي [parazoa قِسْمٌ مِنَ التَّوالِي، وهي حيوانات ذات أنسجة كالقراصيات cnidarians] عن تلك التي لا تملك أنسجة [كالأسفنجيات] بحوالي ٩٤٠ مليون عام مضى، والانفصال بين الفقاريات والحَسيكَة [amphioxus حَيَوانٌ بَحْرِيٌّ بِدائِيّ] بحوالي ٧٠٠ مليون عام مضى ("An Estimate of Divergence Time of Parazoa and Eumetazoa and That of Cephalochordata and Vertebrata by Aldolase and Triose Phosphate Isomerase Clocks")؛ كما اقترح Wang و Kumar و Hedges انفصال الشعب الحيوانية الأساسية (الإسفنجيات والممشطيات والقراصات) قبل حوالي ١٢٠٠-١٥٠٠ مليون عام مضى، وأن الديدان الخيطية قد افترقت عن الخط الأساسي لمفصليات الأرجل والحبليات قبل ١١٧٧-١١٧٩ مليون عام مضى ("Divergence Time Estimates for the Early History of Animal Phyla and the Origin of Plants, Animals and Fungi").

(15) Wray, Levinton, and Shapiro, "Molecular Evidence for Deep Precambrian Divergences Among Metazoan Phyla," 568.

(16) Wray, Levinton, and Shapiro, "Molecular Evidence for Deep Precambrian Divergences Among Metazoan Phyla," 569.

(17) Wray, Levinton, and Shapiro, "Molecular Evidence for Deep Precambrian Divergences Among Metazoan Phyla," 568

(18) Quoted in Hotz, "Finding Turns Back Clock for Earth's First Animals," A1, A14

(١٩) انظر Xun, "Early Metazoan Divergence Was About 830 Million Years Ago"; Aris-Brosou and Yang, "Bayesian Models of Episodic Evolution Support a Late Precambrian Explosive Diversification of the Metazoa". وانظر أيضًا لدراسة سابقة من قبل Bruce Runnegar أعدها في العام ١٩٨٢، والتي قاس فيها اختلاف التسلسل الحالي بين جزيئات الغلوبين في شعب حيوانية مختلفة، ومن هذا افترض أن "التشعع البدئي للشعب الحيوانية قد حصل على الأقل منذ ٩٠٠–١٠٠٠ مليون عام مضى (Runnegar, "A Molecular-Clock Date for the Origin of the Animal Phyla," 199). ولأمثلة أخرى، انظر:

Bromham et al., "Testing the Cambrian explosion hypothesis by using a molecular dating technique," 12386–12389 (وعثر على أن بيانات الدنا الميتوكوندري و 18S rRNA قد أنتجت بيانات التشعب التي تباينت بأكثر من مليون عام)

Xun, "Early Metazoan Divergence Was About 830 Million Years Ago," 369–71 (اقترح Xun أنه من ٢٢ جينة نووية والتي كان وقت الافتراق فيها بين الدروسوفيلا والفقاريات حوالي ٨٣٠ مليون عام خلى)

Doolittle, "Determining Divergence Times of the Major Kingdoms of Living Organisms with a Protein Clock," 470–77 (أرخ انفصال مسميات الفم عن ثنائيات الفم بحوالي ٦٧٠ مليون سنة)

Nikoh et al., "An Estimate of Divergence Time of Parazoa and Eumetazoa and That of Cephalochordata and Vertebrata by Aldolase and Triose Phosphate Isomerase Clocks," 97–106 (أرخ انفصال التوالي الحقيقية و الشَّوالِي parazoa [حيوانات ذات أنسجة] من تلك

التي لا تملك أنسجة كالإسفنجيات بحوالي ٩٤٠ مليون عام مضى، وأرخ انفصال الحسيكات عن الفقاريات بـ ٧٠٠ مليون عام مضى)

Wang et al., "Divergence Time Estimates for the Early History of Animal Phyla and the Origin of Plants, Animals and Fungi," 163–71 **(واقترح تشعب الشعب الحيوانية الأساسية (الإسفنجيات، القراصيات، الممشطيات) بين حوالي ١٢٠٠–١٥٠٠ مليون عام مضى و انفصال الديدان الحبلية عن الخط الرئيسي لمفصليات الأرجل والحبليات في حوالي ١١٧٧–١١٧٩ مليون عام مضى).**

(20) Valentine, Jablonski, and Erwin, "Fossils, Molecules and Embryos," 851.

(21) Nikoh et al., "An Estimate of Divergence Time of Parazoa and Eumetazoa and That of Cephalochordata and Vertebrata by Aldolase and Triose Phosphate Isomerase Clocks".

(22) Wang, Kumar, and Hedges, "Divergence Time Estimates for the Early History of Animal Phyla and the Origin of Plants, Animals and Fungi," 163

(23) Bronham et al., "Testing the Cambrian Explosion Hypothesis by Using a Molecular Dating Technique".

(24) Xun, "Early Metazoan Divergence Was About 830 Million Years Ago".

(25) Aris-Brosou and Yang, "Bayesian Models of Episodic Evolution Support a Late Precambrian Explosive Diversification of the Metazoa ."

ذكرت بعض الاستقصاءات المنشورة الأخرى أن تقديرات انفصال مسميات الفم عن ثنائيات الفم اعتمادا على الساعة البيولوجية تراوحت بين ٥٨٨ مليون عام إلى

١.٥ مليار عام، انظر Erwin, Valentine, and Jablonski, "The Origin of Animal Body Plans"; and Benton and Ayala, "Dating the Tree of Life".

(26) Graur and Martin, "Reading the Entrails of Chickens: Molecular Timescales of Evolution and the Illusion of Precision".

(27) Graur and Martin, "Reading the Entrails of Chickens," 85
وقد ذكر Smith و Peterson أيضًا أن "النقطة الثانية التي تختلف فيها النتائج الجزيئية عن النتائج الشكلية بشدة هو فيما يتعلق بنشوء شعب التوالي. ورغم أن الفرق بين التقديرات الجزيئية والتقديرات الشكلية الظاهرية لنشوء الطيور والثدييات تصل الى ٥٠ مليون عام، فإن فروق التقديرات على مستوى الشعب الحيوانية قد يصل إلى ٥٠٠ مليون عام، وهو تقريبًا يساوي طول دهر البشائر Phanerozoic بأكمله. ("Dating the Time and Origin of Major Clades," 79).

(28) Ayala, Rzhetsky, and Ayala, "Origin of the Metazoan Phyla."

(٢٩) أزال Ayala وفريقه 18S rRNA [جينات مرمزة للرنا] بسبب معضلات الحصول على رصف موثوق. وأضافوا ١٢ جينة مرمزة لبروتينات إضافية.

(30) Ayala, Rzhetsky, and Ayala, "Origin of the Metazoan Phyla," 611.

(31) Valentine, Jablonski, and Erwin, "Fossils, Molecules and Embryos," 856.

(32) Behe, "Histone Deletion Mutants Challenge the Molecular Clock Hypothesis."

(٣٣) حاول بعض البيولوجيين التطوريين شرح انحفاظها الشديد (تشابهها) "بالانتقاء القوي" الذي تخضع له وظيفتها الأساسية، وهي: الرص المحكم للدنا (لفه ورزمه) في صبغيات الخلايا حقيقية النواة. يصعب امتحان تلك الفرضية، رغم وجود البيانات التجريبية التي تظهر تحمل الخميرة للحذف الدراماتيكي للهيستون H4. Behe، "Histone Deletion Mutants Challenge the Molecular Clock Hypothesis".

(٣٤) شرح Baverstock و Moritz ذلك بتفصيل أكثر: "المكون الأكثر أهمية ... في تحليل شجرة النسب هو تحديد أكثر الوسائل أو التسلسلات ملاءمة للكشف عنها. وعلى الطريقة المختارة أن تنتج تباينًا كافيًا لتزودنا بالمعلومات الفيلوجينية، ولكن يجب ألا يكون التباين كبيرًا لدرجة تجعل من التقارب والتوازي يغطيان التغيرات المفيدة معلوماتيا" ("Project Design"، 25).

(35) Valentine, Jablonski, and Erwin, "Fossils, Molecules and Embryos," 856.

(36) Ho et al., "Accuracy of Rate Estimation Using Relaxed-Clock Models with a Critical Focus on the Early Metazoan Radiation," 1355.

(37) Smith and Peterson, "Dating the Time and Origin of Major Clades", 73.

(38) Smith and Peterson, "Dating the Time and Origin of Major Clades," 73 .

وسّع سميث وبيترسون القول بأن "كل الطرق المعتمدة على الساعات الجزيئية تتطلب واحدة أو أكثر من نقاط التصحيح باستخدام التأريخ المشتق إما من السجل الأحفوري أو من القيود الجغرافية الحيوية. وهناك طريقتان: إما أن يعتمد الضبط

على تاريخٍ موثق بشكلٍ جيد (أو عددٍ قليل من التواريخ - أي يمكن الاعتماد على الدليل الأحفوري إلى حد كبير)، أو أن نصل إلى الضبط باستخدام عدد كبير من التآريخ المستقلة وبالتالي نحصل على مجال من التقديرات. وقد انتُقدت الطريقة الأولى من قبل Lee (١٩٩٩) و Alroy (١٩٩٩) لاعتمادها الكبير على أحد التأريخات الأحفورية دون اعتبار الخطأ الذي قد يكمن فيها" (٧٥). انظر Lee، " Molecular Clock Calibrations and Metazoan Divergence Dates"؛ و Alroy، " The Fossil Record of North American Mammals". ووافقهما الرأي Dan Graur و William Martin. وذكرا أن الارتيابات غالبًا ما تصيب الافتراضات حول: ١) عمر الأحافير المستخدمة لضبط الساعة البيولوجية، ٢) معدل الطفرات في الجينات المختلفة، و ٣) نتائج مقارنات التسلسلات بناءً على استخدام الساعة الجزيئية (" Reading the Entrails of Chickens").

(39) Conway Morris, "Evolution," 5–6.

(40) Valentine Jablonski, and Erwin, "Fossils, Molecules and Embryos," 856.

(41) Zvelebil and Baum, Understanding Bioinformatics, 239.

(42) Lecointre and Le Guyader, The Tree of Life, 16.

(٤٣) لنقاش ذو صلة انظر:

Wagner and Stadler, "Quasi-Independence, Homology and the Unity of Type".

(44) Osigus, Eitel, Schierwater, "Chasing the Urmetazoon: Striking a Blow for Quality Data?" 551–57; Conway Morris, "The Cambrian 'Explosion' and Molecular Biology," 505–506

(45) Osigus, Eitel, Schierwater, "Chasing the Urmetazoon: Striking a Blow for Quality Data?" 551–57 .

فكما ذكر Osigus وزملاؤه: "لا يحل مجموع الأشجار الجزيئية (والتي بنيت على أعداد كبيرة من التسلسلات الجينية) شبكة العلاقات الفيلوجينية عند قاعدة شجرة التَّوالِي. وقد نُشرت السيناريوهات المتضاربة في تسلسل قصير، وكان من الممكن انتقاد كل تحليل لسبب أو لآخر. وما يزال الأمر مبهمًا للكثيرين فيما إذا كانت الخلاف حول قاعدة شجرة التوالي Metazoa قابلًا للحل بواسطة بيانات التسلسلات، وحتى إن استُخدم الجينوم بأكمله وأخذت عينات شاملة للتصانيف (٥٥٥).

(46) Conway Morris, "Early Metazoan Evolution," 870.

(47) Graur and Martin, "Reading the Entrails of Chickens"; Smith and Peterson, "Dating the Time and Origin of Major Clades"; Valentine, Jablonski, and Erwin, "Fossils, Molecules and Embryos".

الفصل السادس

(1) The Darwinian Sistine Chapel," April 14, 2009, www.bbc.co.uk/darwin/?tab=21 (accessed October 31, 2012).
(2) Hellström, "The Tree as Evolutionary Icon," 1.
(3) Ruse, Darwinism Defended, 58.
(4) Dobzhansky, "Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution," 125.
(5) Dawkins, The Greatest Show on Earth, 315.

(٦) كما أكَّد كوْيْن: " كل من الصفات المرئية للكائنات الحية وتسلسلات أحماضهم النووية تعطي عادة نفس المعلومات عن العلاقات التطورية".

(Why Evolution Is True, 10).
(7) Atkins, Galileo's Finger, 16
(8) Coyne, Why Evolution Is True, 7

(٩) هناك كم هائل من الكتابات المنشورة التي تختبر كيف يؤول "التشابه" الذي يمكن مباشرة ملاحظته وقياسه إلى "التناظر"، وهو مفهوم نظري لا يمكن مشاهدته بشكل مباشر. يجب ألا يُساوى بين المصطلحين، فتبعًا لفان فالين: "بالنسبة للمختصين بعلم الأحياء الجزيئي ... فإنَّ المعيار الحقيقي هو أن التناظر استنتاج دائمًا، وليس مشاهدة البتة، وما نشاهده هو التشابه أو التطابق، ولكنه ليس التناظر بحال" ("Similar, but Not Homologous"، ٦٦٤)

(10) Prothero, Evolution, 140
(11) Dawkins, A Devil's Chaplain: Reflections on Hope, Lies, Science, and Love, 112
(12) Wiley and Lieberman, Phylogenetics, 6
(13) Degnan and Rosenberg, "Gene Tree Discordance, Phylogenetic Inference and the MultispeciesCoalescent," 332

(14) Dávalos et al., "Understanding Phylogenetic Incongruence: Lessons from Phyllostomid Bats 993،
(15) Syvanen and Ducore, "Whole Genome Comparisons Reveals a Possible Chimeric Origin for aMajor Metazoan Assemblage," 261–75
(16) Quoted in Lawton, "Lawton Why Darwin Was Wrong About the Tree of Life, 39.
(17) Rokas, "Spotlight: Drawing the Tree of Life."
(18) Rokas, Krüger, and Carroll. "Animal Evolution and the Molecular Signature of Radiations Compressed in Time," 1933–34
(19) Rokas and Carroll, "Bushes in the Tree of Life," 1899–1904
(20) Rokas and Carroll, "Bushes in the Tree of Life," 1899–1904 (internal citations omitted).
(21) Rokas and Carroll, "Bushes in the Tree of Life," 1899–1904 (internal citations omitted).
(22) Rokas and Carroll, "Bushes in the Tree of Life," 1899–1904
(23) Rokas, Krüger, and Carroll, "Animal Evolution and the Molecular Signature of Radiations Compressed in Time," 1935 .
(24) Zuckerkandl and Pauling, "Evolutionary Divergence and Convergence in Proteins," 101.
(25) Zuckerkandl and Pauling, "Evolutionary Divergence and Convergence in Proteins," 101.
(26) Theobald, "29+ Evidences for Macroevolution".
(27) Hyman, The Invertebrates, vol. 1: Protozoa Through Ctenophora.
(28) Holton and Pisani, "Deep Genomic-Scale Analyses of the Metazoa Reject Coelomata".
(29) Aguinaldo et al "Evidence for a Clade of Nematodes, Arthropods and Other Moulting Animals." See also Telford et

al., "The Evolution of the Ecdysozoa"; Halanych and Passamaneck, "A Brief Review of Metazoan Phylogeny and Future Prospects in Hox-Research"; and Mallatt, Garey and Shultz, "Ecdysozoan Phylogeny and Bayesian Inference."

(30) Aguinaldo et al., "Evidence for a Clade of Nematodes, Arthropods and Other Moulting Animals

انظر أيضا: Halanych, "The New View of Animal Phylogeny.

(31) Telford et al., "The Evolution of the Ecdysozoa ".

(32) Aguinaldo et al., "Evidence for a Clade of Nematodes, Arthropods and Other Moulting Animals," 492.

(٣٣) على سبيل المثال، نشر الباحث يوري وولف Yuri Wolf وزملاؤه في المركز الوطني لمعلومات التقانة الحيوية National Center for Biotechnology Information (NCBI) في عام ٢٠٠٤ دراسة فيلوجينية مبنية على البيانات الجزيئية من ٥٠٠ مجموعة من البروتينات، وكذلك نماذج الغرز insertion والحذف في البروتينات المشابهة، والتي تدعم فرضية الجوفيات التي اقترحت أولًا. واستنتج فريق وولف أن "كل هذه المقاربات دعمت كلاد الجوف [وراثة الجوف من أصل مشترك-المترجم]، وأظهرت اتساقًا بين تطور تسلسلات البروتين والأحداث التطورية الأعلى رتبة" ("Coelomata and Not Ecdysozoa"، 29). وهناك دراسة أخرى من الـ NCBI قام بها جي زينغ وزملاؤه نُشرت في ٢٠٠٧ حللت مواقع الإنترونات المحفوظة في جينومات العديد من الحيوانات وقد دعمت فرضية الجوفيات ورفضت فرضية الانسلاخيات (الإنترونات هي أجزاء من الجينوم لا تشفر معلومات لبناء البروتينات، وتظهر في الجينوم بين مناطق تسمى الإكسونات تشفر لبناء البروتينات، " Support for the Coelomata Clade

of Animals from a Rigorous Analysis of the Pattern of Intron Conservation").

(٣٤) في ٢٠٠٨ على سبيل المثال شكك سكوت روي Scott Roy (والذي يعمل أيضا في NCBI) ومانويل إيرميا Manuel Irimia (من جامعة برشلونة) في أن تكون بيانات الإنترونات قد دعمت بالفعل فرضية الانسلاخيات (" Rare Genomic Characters Do Not Support Coelomata")

(35) Holton and Pisani, "Deep Genomic-Scale Analyses of the Metazoa Reject Coelomata".

(٣٦) تقسم متناظرات الجانبين في هذه الشجرة أولًا، إلى مَسَمِّيّات الفَم وثُنائِيّات الفَم، وهو ما يعرف الآن بشكل عام على أنه فرضية الانسلاخيات، وتقسم مَسَمِّيّات الفَم بعد ذلك إلى مجموعتين مختلفتين: ١) عجلانيات عرفية Lophotrochozoa [وتسمى هكذا لامتلاكها ميزتين تشريحيتين مميزتين هما اليرقة المهدبة trochophore وبنية مغذّية مهدبة lophophore] و ٢) انسلاخيات Ecdysozoa (الحيوانات التي تنزع كساءها).

(37) Maley and Marshall, "The Coming of Age of Molecular Systematics," 505.

(٣٨) حيث استنتج مالي Maley ومارشال Marshall أن "أنواعًا نموذجية مختلفة [في هذه الحالة: قريدس المياه المالحة أو الرتيلاء tarantula من مفصليات الأرجل] تنتج علاقات قرابة متباينة للغاية بين الشعب" (" The Coming of Age of Molecular Systematics"، ٥٠٥)

(٣٩) تبعًا لـ Valentine و Jablonski و Erwin فإن "الدليل الجزيئي أنشأ نظرة جديدة لتطور سلالة التوالي، محفزًا على إجراء تحليلات جديدة للصفات الشكلية والنمائية والبنيوية الدقيقة". ("Fossils, Molecules and Embryos," 854).

(40) See Nielsen, Animal Evolution, 82
(41) Rokas et al., "Conflicting Phylogenetic Signals at the Base of the Metazoan Tree"; Halanych " ،The New View of Animal Phylogeny"; Borchiellini et al., "Sponge Paraphyly and the Origin ofMetazoa ".

(42) Rokas et al., "Conflicting Phylogenetic Signals at the Base of the Metazoan Tree"; "The New View of Animal Phylogeny" Halanych
(43) Gura, "Bones, Molecules . . . or Both?" 230 .

وهي ورقة علمية نشرت عام ٢٠٠٤ في Annual Review of Ecology and Systematics**، وهي تقول التالي: "أعادت الأدوات الجزيئية بعمُقٍ ترتيب فهمنا لتطور سلالة التوالي"** (Halanych, "The New View of Animal Phylogeny," 229).

(44) Dávalos et al., "Understanding Phylogenetic Incongruence: Lessons from Phyllostomid Bats," 993.

(٤٥) قد يعترض المرء هنا بأن بناء الأشجار الفيلوجينية في المجموعات التصنيفية العليا [شعب الحيوانات] أمر مخادع في جوهره، ولكن الأشجار التي تصف مجموعات تصنيفية دنيا [مثل تلك الموجودة ضمن الشعب] تظهر اتساق أصناف الأدلة المختلفة. بالطبع، وعلى الوجه الدقيق للكلمة، حتى لو وجد دليل على شجرة واحدة مُحكمَة تربط المجموعات ضمن الشعبة، فلن تفعل شيئًا لتبرهن على أسلاف الشعب بحد ذاتها، وسيقتصر الأمر على أفراد المجموعات الأصغر في شعب معينة. وعلى الرغم من ذلك، وحتى ضمن المجموعات التصنيفية الدنيا، فإنَّ المنشورات الأولية عن الاستدلال الفيلوجيني تتحدى الصورة الشجرية لتاريخ الحيوانات.

خذ القشريات بعين الاعتبار على سبيل المثال، وهي مجموعة كبيرة ضمن شعبة مفصليات الأرجل، وتتضمن مخلوقات معروفة مثل القريدس وسرطان البحر. (نشر داروين نفسه أعظم عمل تقني له في علم الحياة عن تصنيف البرنقيل barnacles، وهي مجموعة [Cirripedia] ضمن القشريات). ولو أخذنا باعتبارنا ادعاءات دوكنز وكوْيْن وأتكنز، فلربما توقعنا أن العاملين بعلم الحياة التطورية قد أثبتوا منذ وقت طويل تاريخًا تطوريًا واحدًا ذا معنى لمجموعة مدروسة بشكل جيد مثل القشريات. وأن البيانات الجزيئية تؤيد بشكل كامل ما عرفه البيولوجيون من قبل. ولكن لاحظ في المقابل أن رونالد جينير Ronald Jenner [وهو عالم حيوان وخبير في القشريات في المتحف البريطاني للتاريخ الطبيعي] يصف تطور سلالة القشريات على أنه أمر "لم يحسم بشكل جوهري"، ويوضح الحال بقوله: "التضارب منتشر، ولا يختص بمقارنة الدراسات الشكلية المختلفة أو الدراسات الجزيئية المختلفة أو مقارنتهما ببعضهما" (" Higher-Level Crustacean Phylogeny"، ١٤٣). ثم يكمل: يبقى حقل الدراسة هذا "محل نزاع مكثف"، و "تظهر الدراسات المنشورة مواضع إجماع قليلة جدًا، حتى لو قيدت المقارنة بالتحليلات الأكثر شمولًا ودقة" (١٥١).

تلقي دراساتنا الأخرى حول الأصناف المختلفة من شعبة مفصليات الأرجل مزيدًا ظلال الشك. حيث توفر الحشرات مثالًا آخر هامًا على مثل هذا التضارب، فقد تمسك المصنفون لزمن طويل بناءً على الدليل التشريحي بأن الحشرات أقرب إلى المجموعة التي تضم أم أربع وأربعين centipedes والدودة الألفية millipedes (المسماة بمجموعة كثيرات الأرجل myriapod). لكن الدراسات الجزيئية التي قام بها F. Nardi وزملاؤه تشير إلى أن الحشرات أقرب إلى القشريات. وبشكل مشابه، تقترح الدراسة الجزيئية نفسها أن بعض الحشرات عديمة الأجنحة أقرب

إلى القشريات منها إلى بقية الحشرات، رغم الدراسات التشريحية التي تشير إلى العكس لأسباب واضحة. قاد هذا الأمر كاتبي النشرة العلمية لاستخلاص أن الحشرات "سداسية الأرجل" ليست أحادية الأصل –وهي نظرة لم يسبقهم إليها أحد من العاملين بعلم الحياة التطورية.

وبسبب التعارضات الموجودة بين شجرتي الأنواع الجزيئية والشكلية، عرض فريق ناردي ملاحظة محيرة بقولهم: "رغم أن هذه الشجرة تظهر العديد من النتائج المهمة، إلا أنها تحوي أيضًا بعض القرابات التي يقتضي الدليل تعذر الدفاع عنها، لكونه رغم ذلك يتمتع بدعم إحصائي قوي". ("Hexapod Origins"، ١٨٨٧).

لكن انظر إلى: Delsuc et al.,"Comment on 'Hexapod Origins: Monophyletic or Paraphyletic?'" 1482d; Nardi et al., "Response to Comment on 'Hexapod Origins: Monophyletic or Paraphyletic?'" 1482e.

وقد أظهرت الدراسات على الفقاريات [وهي تحت شعبة من شعبة الحبليات] تضاربًا في القرابات الفيلوجينية، فعلى سبيل المثال، ذكرت نشرة مؤخرة عن تطور سلالة الخفاش "تضارب القرابات التطورية بين أفراد عائلة خفاش Phyllostomidae في العالم الجديد التي تُستنتج من البيانات الجزيئية والشكلية لأكثر من عقد".

استبعد مؤلفو الورقة "التناسخ paralogy، والانتقال الأفقي للجينات، والاعتيان الرديء من الأصنوفة taxon وخيارات المجموعات التصنيفية الشاهدة outgroup، ضمن العمليات التي تقود إلى أشجار تطورية جينية متضاربة لخفاش Phyllostomidae". وذكر الكاتبون فوق ذلك "أن معدلات التغير التفاضلية والآليات التطورية التي تقودها تنتج أشكال تطور سلالي متضاربة. وينتشر التضارب

بين نتائج التطور السلالي المستنبطة من مجموعات مختلفة من الصفات. وقد ازدادت حدة التعارض الفيلوجيني [التطور السلالي] مع ظهور مجموعات البيانات المبنية على مستوى الجينوم. وقد أكدت هذه المجموعات الضخمة من البيانات التعارض الفيلوجيني شائع، وأنه القاعدة وليس الاستثناء". Dávalos et al., "Understanding phylogenetic incongruence: lessons from phyllostomid bats," 991-1024 (internal citations omitted). See also Patterson et al., "Congruence Between Molecular and Morphological Phylogenies," 153-88.

(٤٦) Schwartz and Maresca, "Do Molecular Clocks Run at All?" 357.

(٤٧) يجادل James Valentine مثلًا في حقيقة أن يكون الجوف العام coelom صفة مشتركة تحدد المجموعة كما يؤكد مؤيدو فرضية الجوفيات Coelomata. ويذكر فالنتاين أن "افتراض كون الفراغ الجوفي العام موجود في سلالة واحدة ترجع لأصل مشترك" كان واحدًا من "المبادئ الأساسية لرسم العلاقات بين الشُعب". ولكن وفقًا لنظرته يكون الجوف العام قد تطور مرات عديدة بشكل مستقل، ولا يمكن استخدامه كصفة متناظرة (homologous) تحدد مجموعة وحيدة الأصل. ويقول بدلًا عن ذلك: "إن الجوف العام له أصول متعددة، وقليلة هي الصفات الأبسط من أجواف مليئة بالسائل، ولذا ليس من الصعب تخيل أنها تطورت عدة مرات ولعدة أهداف". (On the Origin of Phyla، ٥٠٠).

(٤٨) الشكل 6.2 مشتق من الشكل ١ لـ: Edgecombe et al., Higher-Level Metazoan Relationships: Recent Progress and Remaining Questions".

(٤٩) لمناقشة أوسع للموقع المركزي للخلايا المنتشة في التطور انظر: Ewen-Campen,Schwager, and Extavour, "The Molecular Machinery of Germ Line Specification". ويوضحون أنَّ "على الحيوانات المتكاثرة جنسيًا أن تضمن تحديد نوعٍ مهم من الخلايا: الخلايا المنتشة. وستكون هذه الخلايا السلف الوحيد للبيوض والنطاف عند البالغين الناضجين جنسيًا، وهكذا فإن النماء الجنيني حاسم لنجاح التكاثر وبقاء الأنواع" (٣).

(٥٠) كما هي الحال في الطفرات التي تؤثر على السمات الرئيسية في الكائنات، هناك غياب استثنائي لأمثلة الطفرات الناجحة (أي التي صارت موروثة بشكل ثابت) التي تعدل بشكل كبير تشكيل الخلايا الجنسية الأولية PGC في أي مجموعة حيوانية. إن البحث في التجارب المنشورة عن الأنظمة النموذجية في علم البيولوجيا النمائية (مثل Drosophila من ذبابات الفاكهة، والجرذ من الفئران، و C. elegans من الديدان الممسودة) يكشف بدلًا عن ذلك الكثير من أمثلة خسارة البنية أو الوظيفة، بما في ذلك

الغياب الكامل للبيوض oocytes في ذبابة الفاكهة (Lehmann, "Germ-Plasm Formation and Germ-Cell Determination in Drosophila")،

وقلة الخلايا المنتشة والعقم في الفئران (Pellas et al., "Germ-Cell Deficient [gcd], an Insertional Mutation Manifested as Infertility in Transgenic Mice")،

وإزالة الخلايا البيضية وما يلي ذلك من العقم عند الممسودات الخنثوية

(Kodoyianni, Maine, and Kimble, "Molecular Basisof Loss-of-Function Mutations in the glp–1 Gene of Caenorhabditis elegans").

انظر أيضًا: Youngren, "The Ter mutation in the dead end gene causes germ cell loss and testicular germ cell tumours," 360-64

يمكن تعداد مثل هذه الأمثلة عن الطفرات الضارة بشكل لا منته اعتمادًا على هذه الأنظمة النموذجية وغيرها.

(٥١) يضع Andrew Johnson **(أستاذ مساعد ومعيد في علم الوراثة في جامعة نوتنغهام)، ومعه عدد من الباحثين المشاركين، الأمر بالطريقة التالية: "نماء الخلايا المنتشة الذي يعمل كقيد على التخلق الجنيني هو أمر عسير علينا قبوله أولًا. لكن استبقاء مجموعة من الـ** PGCs **التي ستنتج الأعراس لاحقًا هو قيد أساسي يواجه أي كائن متكاثر بالجنس، لأنَّ عدم القدرة على تمرير الخصال الموروثة للأجيال اللاحقة سينهي ذرية الفرد. ولذا لن تحفظ التغييرات التي تطرأ على العمليات النمائية والتي تهدد استمرارية الـ** PGCs" ("Evolution of Predetermined Germ Cells in Vertebrate Embryos: Implications forMacroevolution," 425).

(٥٢) Extavour, "Evolution of the Bilaterian Germ Line," 774 .

وانظر الشكل ٦. ٤

(٥٣) Extavour, "Gray Anatomy," 420.

بدلًا من ذلك فإنها تفترض أن "التطور المتقارب أدى إلى العديد من الحلول للمشاكل المتنوعة المورفولوجية –وربما الجزيئية الجينية– التي فرضها التكاثر الجنسي".

(٥٤) Willmer and Holland, "Modern Approaches to Metazoan Relationships," 691, emphasis inoriginal

(٥٥) Willmer and Holland, "Modern Approaches to Metazoan Relationships," 690.

(٥٦) Brusca and Brusca, Invertebrates, 120; 2nd ed., 115.

(٥٧) Jenner, "Evolution of Animal Body Plans," 209

(٥٨) بالإضافة إلى التطور المتقارب، اقترح العاملون بعلم الحياة التطوري تشكيلة من التفسيرات لتفسير العديد من الحالات التي يكون فيها التشابه التشريحي أو الجزيئي غير قابل للتفسير بالعزو للانحدار الرأسي من سلف مشترك، والتي منها: المعدلات المختلفة من التطور (ما ينتج عن الانتقاء الإيجابي أو الانتقاء المنقي purifying selection)، والانجذاب بين أنواع الفروع الطويلة long branch attraction [أحد أخطاء التصنيف التي توحي بأن بقرابة سلالتين متباعدتين- المترجم]، والتطور السريع، والتحام كامل الجينوم، والتآلف coalescent [أحد تفريعات التطور الحيادي- المترجم] (مثل التمايز غير المكتمل للذرية incomplete lineage sorting)، وتلوث الـ DNA، والانتقال الأفقي للجينات. يحدث الانتقال الأفقي للجينات (HGT) عندما تنقل الكائنات (عادة بدائيات النوى مثل الجراثيم) الجينات للأفراد المجاورين. وتوفر هذه الآلية تفسيرًا معقولًا لبعض تضاربات التطور السلالي في بدائيات النوى، رغم الاعتقاد بأن بعض الجينات الإعاشية في الخلية housekeeping والتي تقوم بمهام حاسمة، تقاوم الانتقال الأفقي. إن الآلية التي يحدث بها الانتقال الأفقي موصوفة بشكل جيد، وتشمل عمليات استحالة (قبط الخلية لـ DNA الموجود في البيئة)، والتنبيغ transduction (وهو نقل الـ DNA من خلية إلى أخرى عن طريق فيروس يصيب الجراثيم يدعى الفيروس الملتهم للجراثيم)، والاقتران conjugation (وهو نقل DNA من خلية جرثومية إلى أخرى بشكل مباشر عن طريق شعرة الاقتران). تقل معقولية النقل الأفقي للجينات في حقيقيات النوى، حيث يحدث بشكل أقل

وآلياته المحتملة أقل توصيفًا؛ ورغم الاعتقاد بأنه يحدث في حالات نادرة بين حقيقيات النوى وبدائيات النوى، إلا أن شكله الأقل ندرة (إن لم يكن موجودًا أصلًا) هو ما بين الحيوانات المختلفة. (انظر Doolittle، " Phylogenetic Classification and the Universal Tree," 2124–28; Hall, "Contribution of HorizontalGene Transfer to the Evolution of Saccharomyces cerevisiae," 1102–15; Kondo, "Genome Fragmentof Wolbachia Endosymbiont Transferred to X Chromosome of Host Insect," 14280–85.]

وهناك تفسير آخر معروض للتضارب الموجود في التطور السلالي، ويسمى الانجذاب بين الفروع الطويلة، وهو أمر اصطنعته خوارزميات التطور السلالي، التي تميل إلى تجميع تفضيلي للذريات المتقاربة التي تشعبت بسرعة وتطورت بشكل منفصل على مدى فترة طويلة من الزمن. [Bergsten, "A Review of Long-Branch Attraction," 163–93.]

وهناك سبب مطروح آخر للتضارب، وهو ظاهرة تسمى الفرز غير المكتمل للذرية. ويحدث هذا عندما تنقسم الذرية مرة ثم تنقسم بسرعة مرة أخرى لتعطي ثلاثة أنواع وليدة، ويحدث الانقسام الثاني قبل أن تكتمل عملية الفرز، (أي العملية التي تكتسب بها الأنواع الوليدة بالتدريج مجموعة متغيراتها الجينية المميزة)، ويتبع هذا الحدث فقْد متغير عشوائي بالانجراف الجيني، وهو ما قد يسبب تجميع جنسين لم يكن لهما أن يجتمعا إلا بتلك الطريقة. تفسر هذه العملية فقط تضارب التطور السلالي بين الأجناس القريبة بشدة. لكن في حين ربما تكون بعض هذه التفسيرات جديرة بالتصديق، لكنها تبقى على حالها: محاولات لتفسير كيفية ظهور صفتين أو مورثتين متشابهتين دون أن تكونا موروثتين من سلف مشترك. وهكذا فإنها تعطي أمثلة مضادة للمقدمة التي يعتمد عليها بناء التطور السلالي – والتي هي أن التشابه مؤشر على وجود سلف مشترك.

الفصل السابع

(1) Lecture Notes, Paul Nelson, University of Pittsburgh, 9-28-83.

(2) Gould and Eldredge, "Punctuated Equilibrium: The Tempo and Mode of EvolutionReconsidered," 147.

(3) Gould and Eldredge, "Punctuated Equilibrium: The Tempo and Mode of EvolutionReconsidered," 115.

(4) Eldredge, The Pattern of Evolution, 21.

(5) Sepkoski, 'Radical' or 'Conservative'? The Origin and Early Reception of PunctuatedEquilibrium," 301–25.

أكمل غولد وإيلدريدج إحكام وتهذيب نظرية التوازن المتقطع من خلال نشراتهما المشتركة حتى عام ١٩٩٣. انظر:

Gould and Eldredge, "Punctuated Equilibrium Comes of Age," 223–27.

(٦) كان المأمول من التوازن المتقطع، وفق ما وضحت الأكاديمية الوطنية الأمريكية للعلوم، أن يفسر غياب الوسائط الانتقالية بإثبات إمكانية حصول "تغييرات سريعة في الجماعات، بحيث لا تترك العديد من الأحافير الانتقالية" (Teaching About Evolution and the Nature of Science, 57).

(٧) رغم أن غولد وايلدريدج صاغا التوازن المتقطع قبل سنوات من الدراسات حول الدليل الجزيئي، والتي ناقشناها في الفصل السادس، إلا أن نظريتهما قادرة على أن تبسط يد المساعدة لتفسير التضارب في تواريخ التطور السلالي التي ناقشناها في ذلك الفصل أيضًا. وهو ما سيحاول روكاس، و كروغر، و كارول أن يجادلوا به لاحقًا في ("Animal Evolution and the Molecular Signature of Radiations Compressed in Time")، بأن العملية التطورية

إن كانت سريعة بما يجعلها لا تتيح سوى قليل من الوقت، ولا يسمح بتجمع الاختلافات في الواسمات الجزيئية الرئيسية، ولذا فإن على البيولوجيين أن يتوقعوا دراسات فيلوجينية تنتج أشجارًا تطورية متضاربة.

(8) Sepkoski, " ‘Radical’ or ‘Conservative’?" 304 .

(9) Gould and Eldredge, "Punctuated Equilibrium Comes of Age";

Theobald, "Punctuated Equilibrium" **("أشعل التوازن المتقطع مباشرة جدلًا علميًا ما زال دخانه يتصاعد من حينها")؛**

Bell, "Gould’s Most Cherished Concept" **("سواء وافقت غولد أم لم توافقه بخصوص التوازن المتقطع، فإنه قد أصبح أمرًا واقعًا مقبولًا، وقد قاد بكل تأكيد نقاشًا سليمًا يتعلق بكفاية النظرية الداروينية الجديدة لتفسير التطور الكبروي، وتحليل تسلسلات الطبقات الحيوية من الأرض، وزيادة تضمين بيانات الأحافير في النظرية التطورية")**

Dawkins, The Blind Watchmaker, 240–41; Dennett, Darwin’s Dangerous Idea, 282–99" Ridley, "The Evolution Revolution"; Gould, "Evolution: Explosion, Not Ascent"; Boffey, "100 Yearsafter Darwin’s Death, His Theory Still Evolves"; Gleick, "The Pace of Evolution"; Maynard Smith,"Darwinism Stays Unpunctured"; Levinton, "Punctuated Equilibrium"; Schopf, Hoffman, and Gould,"Punctuated Equilibrium and the Fossil Record";

Lewin, "Punctuated Equilibrium Is Now Old Hat" **(مع ملاحظة أن "فحوى النقاش" حول التوازن المتقطع "يصير أحيانًا حاد اللهجة")؛**

Levinton, "Bryozoan Morphological and Genetic Correspondence";

Lemen and Freeman, "A Test ofMacroevolutionary Problems with Neontological Data";
Charlesworth, Lande, and Slatkin, "A Neo-Darwinian Commentary on Macroevolution";
Douglas and Avise, "Speciation Rates andMorphological Divergence in Fishes".

(١٠) Rose, ed. The Richness of Life: The Essential Stephen Jay Gould, 6. See also Turner, "WhyWe Need Evolution by Jerks"; Rée, "Evolution by Jerks".

(11) Sepkoski, "‘Radical’ or ‘Conservative?"

(١٢) من أجل جرة فيها ١٠٠ كرة ٥٠ حمراء و٥٠ زرقاء فإنَّ احتمال الحصول على كرات زرقاء فقط بأخذ ٥٠ كرة عشوائيًا من الجرة يعطى عن طريق الاعتبارات التالية: أولًا: هناك طريقة واحدة لاختيار الكرات الزرقاء فقط، ثانيًا: في العموم، ومن أجل جرة فيها N كرة: هناك [توافيق] C(N , K) طريقة مختلفة لاختيار K عدد من الكرات من بين هذه الـ N (مع كون K أكبر أو تساوي الصفر وأصغر أو تساوي N).

C(N , K) مساو لـ N! مقسمًا على جداء K! و (N - K)!، حيث أن علامة التعجب تقرأ "عاملي"، وتساوي: ناتج ضرب كل الأرقام الأقل أو تساوي الرقم المطلوب حتى الرقم ١. وهكذا فإن (ستة عاملي = ٦! = ٦*٥*٤*٣*٢*١ = ٧٢٠.

يزداد العاملي بسرعة أكبر من الأسي. وتقرأ C(N , K): "اختيار K من N"، ومن أجل المسألة السابقة فإن العدد الإجمالي لطرق اختيار ٥٠ كرة معينة من ١٠٠ كرة، متجاهلين اللون هو C(١٠٠, ٥٠) وهو ما يساوي ١٠٠! مقسمة على ٥٠!

مضروبة بـ ٥٠!؛ أو ١٠٠!\(٥٠!*٥٠!). يعطي هذا الرقم قيمة محددة في الحساب كالتالي:

C(100,50) = 100,891,344,545,564,193,334,812,497,256

وهو ما يعادل تقريبا ١.٠٠٨٩١×10^{29}.

وهكذا فإن احتمالية اختيار K كرة معينة من العدد الكلي للكرات N هو معكوس ذلك الرقم، ويمكن اختزالها بالمعادلة التالية:

p = k! x (N – k)!/N!

وتبعًا لهذه المسألة فإن احتمال اختيار كل الكرات الزرقاء الخمسين عشوائيًا من مجموعة تحوي ٥٠ كرة حمراء و٥٠ كرة زرقاء هو: ١ \ C(100,50) ، أو ما يساوي ٩.٩١١٦٥×10^{-30}

(١٣) باستخدام المعادلة التي ناقشناها في الملاحظة السابقة نفسها، يكون احتمال اختيار ٤ كرات معينة من ٨ كرات بالمعادلة نفسها: ٤!×(٨–٤)! \ ٨! = 1 من 70.

(14) Gould and Eldredge, "Punctuated Equilibria: The Tempo and Mode of Evolution Reconsidered," 117

(15) Eldredge and Gould, "Punctuated Equilibria: An Alternative to Phyletic Gradualism," 84

(16) Lieberman and Vrba, "Stephen Jay Gould on Species Selection: 30 Years of Insight"; Gould,"The Meaning of Punctuated Equilibrium and Its Role in Validating a Hierarchical Approach to Macroevolution.

(17) Gould, The Structure of Evolutionary Theory, 703.

وكما أكَّد غولد وإيلدريدج أيضًا في مكان آخر: "ينطلق التبصر الأساسي في مراجعة (النظرية التطورية) من وجوب إعادة تصور كل التغييرات التطورية الجوهرية على أنَّها فرز من مستويات عليا بناء على النجاح التفاضلي لضروب معينة من

الأنواع الثابتة، بدلًا من كونها تحولًا متدرجًا ضمن السلالات (أي الأنواع) (Punctuated Equilibrium Comes of Age," 224")

(١٨) إذا كان الانتقاء الطبيعي يعمل على وحدات أكبر من الانتقاء [على الأنواع بدلًا من الأفراد]، فستكون النتيجة المنطقية ظهور قفزات منفصلة أكبر حجمًا. لكن نادرًا ما كان يركز غولد وإيلدريدج على هذا المعنى الذي يتضمنه صراحةً تصورُهما عن انتقاء الأنواع، بل كانا يركزان على الانتواع اللاأبوي بكونه السبب الرئيس وراء تقطع سجل الأحافير. على كل حال، غالبًا ما كان ستانلي يربط بين فعالية انتقاء الأنواع كآلية للتغيير التطوري، والانقطاع بين الأحافير. وكما أشار: "تعتمد صلاحية الأنواع كوحدة أساسية للتطور الكبروي على وجود الانقطاعات بين العديد من الأنواع في شجرة الحياة" (Macroevolution, 3)

(19) Schopf, Editorial Introduction to Eldredge and Gould, "Punctuated Equilibria: An Alternativeto Phyletic Gradualism," 82; Stanley, Macroevolution: Pattern and Process, 3

(٢٠) Valentine and Erwin, "Interpreting Great Developmental Experiments" انظر المخطط في الصفحة ٩٢

(٢١) أشار فالنتاين وإروين إلى أن "القرابات الانتقالية في كل الشعب (الكامبرية) غير مؤكدة"، وحتى الآن "ما يزال الانفجار التطوري قرب بداية العصر الكامبري حقيقيًا، وأنتج عددًا هائلًا من المخططات الجسدية (الجديدة)" [Interpreting Great Developmental Experiments، 84 –89].

(22) Valentine and Erwin, "Interpreting Great Developmental Experiments," 96

(23) Gould and Eldredge, "Punctuated Equilibrium Comes of Age ".

(24) Gould and Eldredge, "Punctuated Equilibrium Comes of Age ".

(25) Schopf, Editorial Introduction to Eldredge and Gould, "Punctuated Equilibria: An Alternativeto Phyletic Gradualism," 84 .

(٢٦) جادل فووت: "باعتبار تقديرات ل:

أ- اكتمال السجل الأحفوري،

ب- متوسط عمر الأنواع،

ج- الوقت اللازم للتحولات التطورية،

د- عدد ... التحولات في المستويات العليا،

فإنه يمكننا إعطاء تقييم لعدد التحولات الكبرى التي يجب أن نتوقع رؤيتها في السجل الأحفوري". ويقول أن هذه الطريقة وفرت سبيلًا لتقييم "ما إذا كان العدد القليل من التحولات الكبرى الموثقة يوفر دليلًا قويًا ضد التطور" ("On the Probability of Ancestors in the Fossil Record," 148). ونظرًا لأن المتغيرات أ، ب، د مثبتة جيدًا، فإن ج (الوقت اللازم لتنتج الآليات المعقولة تحولات تطورية كبروية) يعتبر متغيرًا حاسمًا في تحليل أي نموذج تطوري معين، ويشمل ذلك التوازن المتقطع. فإن كان الوقت اللازم لإنتاج تغير تطوري كبروي طويلًا، كما هو في حالة آلية التغيير في الداروينية الجديدة، فإن هذه الداروينية تفشل في تفسير بيانات السجل الأحفوري، باعتبار التقديرات الحالية لقيم أ، ب، د. وبالعكس، إذا استطاعت نظرية مثل التوازن المتقطع تحديد آلية تعمل بطريقة أسرع بشكل كاف، فإن بإمكانها تفسير قلة الأشكال الوسيطة الانتقالية.

(27) Foote and Gould, "Cambrian and Recent Morphological Disparity," 1816

(28) Darwin, On the Origin of Species, 177

(٢٩) كما وضح غولد وإيلدريدج : "يتركز معظم التغير التطوري الذي ناقشناه مركز في أحداث سريعة (تعتبر خاطفة بالمقاييس الجيولوجية) من الانتواع في جماعات صغيرة ومتطرفة ومعزولة (نظرية الانتواع اللاأبوي) " (Punctuated Equilibria: The Tempo and Mode of Evolution Reconsidered," 116–17).

انظر أيضا: Lewin, "Punctuated Equilibrium Is Now Old Hat".

(30) Shu et al., "Lower Cambrian Vertebrates from South China".

(31) Dawkins, The Blind Watchmaker, 265

(32) Levinton, Genetics, Paleontology, and Macroevolution, 208.

(33) Gould, The Structure of Evolutionary Theory, 710.

(34) Charlesworth, Lande, and Slatkin, "A Neo-Darwinian Commentary on Macroevolution," 493 .

وكما استنتج David Jablonski في ٢٠٠٨، "يبقى مدى وفعالية عمليات معينة (في انتقاء الأنواع) أقرب للمجهول" ("Species Selection," 501)

(35) Gould, The Structure of Evolutionary Theory, 1005

(36) Gould, The Structure of Evolutionary Theory, 55, emphasis added.

(37) Gould and Eldredge, "Punctuated Equilibria: The Tempo and Mode of Evolution Reconsidered," 134 .

(38) Sepkoski, " 'Radical' or 'Conservative'?" 307 .

(39) Sepkoski, " 'Radical' or 'Conservative'?" 7

(40) Gould, "Is a New and General Theory of Evolution Emerging?" 120

فهم العديد من زملاء غولد أنه يقدم نظرية عن التطور الكبروي، ولذا ظنوا في ذلك الوقت أنه **[وفق وصف سيبوسكي]** "نصير متحمس لنظرة ثورية (وربما مضللة أيضًا) عن التغير التطوري" (Radical’ or ‘Conservative’?" 302٤)

(٤١) Sepkoski, " ‘Radical’ or ‘Conservative’?" 302

(٤٢) Valentine and Erwin, "Interpreting Great Developmental Experiments," 96



الفصل الثامن

(1) Bowler, Theories of Human Evolution, 44–50.

(2) Vorzimmer, "Charles Darwin and Blending Inheritance," 371–90 .

(3) Jenkins, Genetics, 13–15.

(4) Muller, "Artificial Transmutation of the Gene," 84–87.

(٥) كما يقول ماير وبروفين " أثبت العديد من مختصي الوراثة ... أن التباينات المستمرة على ما يبدو نتيجة للعوامل الوراثية غير المستمرة (طفرات) والتي تتبع الوراثة الماندلية في طريقة وراثتها". (The Evolutionary Synthesis, 31)

(6) Bowler, Evolution: The History of an Idea, 331–39

(7) Huxley, "The Evolutionary Vision," 249, 253 .

(8) Huxley, quoted in " 'At Random': A Television Preview," 45 .

(9) Watson and Crick, "A Structure for Deoxyribose Nucleic Acids," 737–38

(١٠) لتوضيحٍ مصور، شاهد الفيلم القصير "رحلة داخل الخلية" على موقعي SignatureintheCell.com

(11) Valentine, "Late Precambrian Bilaterians ".

(12) Brocks et al., "Archean Molecular Fossils and the Early Rise of Eukaryotes".

(13) Grotzinger et al., "Biostratigraphic and Geochronologic Constraints on Early AnimalEvolution".

(14) Ruppert et al, Invertebrate Zoology, 82

(15) Bowring et al., "Calibrating Rates of Early Cambrian Evolution ".

(16) Valentine, Origin of the Phyla, 73 .

(17) Koonin, "How Many Genes Can Make a Cell? "

(18) Gerhart and Kirschner, Cells, Embryos, and Evolution, 121; Adams et al., "The Genome Sequence of Drosophila melanogaster"; see also www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/?term=drosophila%20melanogaster (accessed November 1, 2012) .

(١٩) زيادة على ذلك، إضافة إلى الحاجة لكمية ضخمة من المعلومات الجينية الجديدة، فإن بناء حيوان جديد من كائنات وحيدة الخلية يتطلب أيضًا طريقة لترتيب المنتجات البروتينية (الناتجة عن الجينات) في مستويات أعلى من التنظيم، تشمل: أنواع الخلايا، والأعضاء، والمخططات الجسدية. لاحقًا سأناقش في الفصل الرابع عشر أهمية هذه الترتيبات الحاصلة على مستويات أعلى، ولماذا تؤلف أيضًا ضربًا من المعلومات – ضربًا غير مخزن في الجينات وحدها، إلا أنه على الرغم من ذلك يحتاج للتفسير مثلها.

(20) Shannon, "A Mathematical Theory of Communication ".

(٢١) لتحديد مدى وجود معلومات شانون في أي تسلسل من الصفات، يستخدم علماء المعلومات صيغة لتحويل المقاييس الاحتمالية إلى مقاييس معلوماتية مستخدمين تابع لوغاريتم سالب. ويمكن تمثيل شكل بسيط من المعادلة كما يلي:

$I = -\log_2 p$

حيث تعني إشارة السالب العلاقة العكسية بين الاحتمالية والمعلومة.

(22) Yockey, Information Theory and Molecular Biology, 110

(23) Shannon and Weaver, The Mathematical Theory of Communication, 8.

(24) Schneider, "Information Content of Individual Genetic Sequences"; Yockey, Information Theory and Molecular Biology, 58–177.

(٢٥) لا ينقل الـ DNA معلومات ذات معنى، بكل وضوح، إن عرفنا تلك المعلومات بأنها "معرفية" منقولة ومفهومة من قبل عامل واع؛ رغم إمكانية القول بأن التسلسلات الدقيقة للأسس ذات معنى من حيث أنها مهمة للعمل الذي يقوم به الـ DNA.

لكن من الواضح أن الآلية الخلوية التي تقرأ المعلومات في الـ DNA لتبني البروتينات غير واعية. رغم أن المعلومات ذات المعنى والدلالة (رسالة يفهم معناها عامل واع) تمثل ضربًا خاصًا من المعلومات الوظيفية. ويمكن تمييز كل تسلسلات الرموز الحاوية على معلومات وظيفية عن معلومات شانون المجردة بأن المهم في الأولى للوظيفة التي تؤديها هو الترتيب الدقيق للرموز والحروف فيها.

(26) Crick, "On Protein Synthesis," 144, 153. See also Sarkar, "Biological Information," 191.

الفصل التاسع

(1) Eden, "Inadequacies of Neo-Darwinian Evolution as a Scientific Theory," 11.

(2) The quotation and the historical material about the Geneva gathering are drawn from G. R.Taylor, Great Evolution Mystery, 4 .

(3) Schützenberger, "Algorithms and the Neo-Darwinian Theory of Evolution," 73–75.

(4) Schützenberger, "Algorithms and the Neo-Darwinian Theory of Evolution," 74–75 .

(٥) بعد ثلاثين عامًا من الندوة علق الرياضي ديفيد بيرلينسكي في مقال سيء السمعة الآن في مجلة Commentary، وضخّم حجة إيدين حيث قال: "على كل حال، قد تعمل [هذه الحجة] في الحياة، فالعشوائية في اللغة عدو الترتيب، وهي سبيل لإبطال المعنى؛ ولا يقتصر ذلك على اللغة وحدها، ولكن يتعداها إلى أي نظام يشبه اللغة". " داروين القابل للدحض The Deniable Darwin"

(6) King and Jukes, "Non-Darwinian Evolution," 788.

(7) Eden, "Inadequacies of Neo-Darwinian Evolution as a Scientific Theory," 110

(8) Schützenberger, "Algorithms and the Neo-Darwinian Theory of Evolution," 74.

(9) Ulam, "How to Formulate Mathematically Problems of Rate of Evolution," 21

(10) Eden, "Inadequacies of Neo-Darwinian Evolution as a Scientific Theory," 7.

(11) Denton, Evolution: A Theory in Crisis, 309–11.

(12) Maynard Smith, "Natural Selection and the Concept of a Protein Space ".
(13) Denton, Evolution, 324
(14) Reidhaar-Olson and Sauer, "Functionally Acceptable Substitutions in Two Alpha-Helical Regions of Lambda Repressor".
(15) Yockey, "On the Information Content of Cytochrome C".
(16) Yockey, "On the Information Content of Cytochrome C".
(17) Behe, "Experimental Support for Regarding Functional Classes of Proteins," 66.
(18) Lau and Dill, "Theory for Protein Mutability and Biogenesis".
(19) Behe, "Experimental Support for Regarding Functional Classes of Proteins".

الفصل العاشر

(1) Dawkins, The Blind Watchmaker: Why the Evidence of Evolution Reveals a Universe Without Design, 46–47.

(٢) لمراجعة نقد محاكاة دوكنز انظر الفصل الثالث عشر من Signature in the Cell. وانظر أيضًا ما كتبه Ewert, et al. "Efficient Per Query Information Extraction from a Hamming Oracle," 290–97; Dembski, No Free Lunch, 181–21،

وانظر أيضًا Weasel Ware–Evolutionary Simulationu على الموقع http://evoinfo.org/weasel.

(3) Reidhaar-Olson and Sauer, "Functionally Acceptable Substitutions in Two Alpha-Helical Regions of Lambda Repressor," 315.

(٤) أدرك علماء البروتينات وجود مستوى إضافي من البنية يدعى البنية الرابعة، والتي تتشكل من عدد الطيات البروتينية، أو من عدد من البروتينات الكاملة.

(٥) كما ذكر Reidhaar-Olson وSauer: في مواضع الحموض الأمينية المغمورة داخل البنية، توجد محددات عظيمة لعدد ونمط الثمالات المسموح بها. بينما يمكن تحمل وجود ثمالات أمينية مختلفة أو أنماط ثمالات مختلفة على سطح البروتين". ("Functionally Acceptable Substitutions in Two Alpha-Helical Regions of Lambda Repressor," 306).

(6) Axe, "Extreme Functional Sensitivity to Conservative Amino Acid Changes on Enzyme Exteriors."

(7) Dawkins, Climbing Mount Improbable.

(8) Jensen, "Enzyme Recruitment in Evolution of New Function," 409–25.

(9) Axe, "Extreme Functional Sensitivity to Conservative Amino Acid Changes on Enzyme Exteriors".

(10) Axe, "Extreme Functional Sensitivity to Conservative Amino Acid Changes on Enzyme Exteriors," 585–96.

أكَّد العمل التجريبي الذي قام به Axe مع زميلته Ann Gauger، والمنشور في عام ٢٠١١ هذه النتائج أيضًا. انظر Gauger and Axe, "The Evolutionary Accessibility of New Enzyme Functions: A Case Study from the Biotin Pathway".

(11) Axe, "Extreme Functional Sensitivity to Conservative Amino Acid Changes on Enzyme Exteriors".

(١٢) يلتصق البروتين أيضًا بكينونات جزيئية ضمن الخلية (أو ما نسميه المشتملات inclusion bodies)، وفي كلا الحالتين تتعرض وظيفة البروتين للإعاقة. فوق ذلك، يسرع أي ارتفاع طفيف في الحرارة من انفتاح الطيات البروتينية غير المستقرة أصلًا.

(١٣) أظهرت تجارب Axe التي استخدم فيها تصفية أكثر حساسية للوظيفة أن تغيرَ واحدٍ فقط من الحموض الأمينية سيقلل من وظيفة البروتين بما فيه الكفاية لإضعاف كفاءته، وحتى في الحالات التي تكون فيها تلك التغيرات غير مستأصِلة للوظيفة بأكملها.

(14) Blanco, Angrand, and Serrano, "Exploring the Conformational Properties of the Sequence Space between Two Proteins with Different Folds: An Experimental Study".

ووفقًا لشرحهم: " الثمالات اللبية الكارهة للماء مهمة في تحديد البنية البروتينية، وكذا الثمالات السطحية" ٧١٤.

(١٥) يشير التطور الحيادي في هذا السياق إلى عملية مزعومة تشرح منشأ الجينات الوظيفية الجديدة والبروتينات المتحررة من الضغط الانتقائي نتيجة تضاعف الجينات. يشكل نموذج الحياد في تطور الجينات جزءًا من نظرية الحياد في التطور الأعم والأشمل، والتي اقترحها Motoo Kimura في العام ١٩٦٨. ويشرح Long وزملاؤه أن نموذج Kimura ساعد في "وصف كيفية اكتساب الجينات المتضاعفة وظائف جديدة، لتحفظ في النهاية في سلالة" ("The Origin of New Genes," 868). على أية حال، يحاول نموذج Kimura في التطور المحايد أن يشرح حقائق وظواهر أبعد من مجرد نشأة جينات جديدة، ولذا، فليس كل من يقبل بنموذج تطور محايد لنشوء الجينات يقبل بنظرية Kimura كاملة.

Kimura, The Neutral Theory of Molecular Evolution.

(١٦) كتب Matthew Hahn "يبدو أن هناك أربع آليات أساسية يتكرر من خلالها نسخ [جزء أو كل –المترجم] من الـ DNA:

أ– التعابر غير المتكافئ unequal crossing-over

ب– بواسطة ترانسبوزون دنوي

ت– بواسطة ترانسبوزون قهقري retrotransposon،

ث– تعدد الصيغة الصبغية polyploidization

("Distinguishing Among Evolutionary Models for the Maintenance of Gene Duplicates," 606).

(17) Axe, "Estimating the Prevalence of Protein Sequences Adopting Functional Enzyme Folds".

(18) Dembski, The Design Inference, 175.

(١٩) قام Michael Behe بهذه الحسابات في كتابه The Edge of Evolution بناءً على ورقة بحثية منشورة في وقائع الأكاديمية الوطنية للعلوم في الولايات المتحدة، والتي ميزت تشكل حوالي 10^{30} خلية بدائية النواة في كل سنة على كوكب الأرض [Whitman, "Prokaryotes: The unseen majority," 6578–83]. وبما أن الخلايا بدائية النواة تشكل الغالبية الساحقة من الكائنات الحية، فقد ضرب هذا الرقم بـ 10^{10} والذي هو ضعف عمر الأرض تقريبًا، مما سمح له بتقدير العدد الكلي للكائنات الحية التي عاشت على سطح الأرض، "وهو أقل بقليل من 10^{40} خلية". Behe, The Edge of Evolution, 64.

(20) Bowring et al., "Calibrating Rates of Early Cambrian Evolution"; "A New Look at Evolutionary Rates in Deep Time"; "Geochronology Comes of Age"; Kerr, "Evolution's Big Bang Gets Even More Explosive"; Monastersky, "Siberian Rocks Clock Biological Big Bang".

(21) Ohno, "The Notion of the Cambrian Pananimalia Genome".

(22) Dembski, The Design Inference, 175–223 .

غالبًا ما يستخدم Dembski الرقم 1 من 10^{150} كحدود للاحتمالية الكونية، ولكن هذا الرقم مشتق من التقريب العددي للأس الذي قام بحسابه في الواقع. انظر نقاشي حول اشتقاق حدود الاحتمالية الكونية لـDembski في كتابي Signature in the Cell، الفصل العاشر.

(23) Dawkins, The Blind Watchmaker, 139.

الفصل الحادي عشر

(1) Stephen C. Meyer, "The Origin of Biological Information and the Higher Taxonomic Categories".

(٢) لنقاش مفصل حول حقائق قضية Sternberg، راجع:

"Smithsonian Controversy"
www.richardsternberg.com/smithsonian.php;
U.S. Office of Special Counsel Letter (2005) at
www.discovery.org/f/1488;
United States House of Representatives Committee on Government Reform, Subcommittee Staff Report, "Intolerance and the Politicization of Science at the Smithsonian" (December 2006), at www.discovery.org/f/1489;
Appendix, United States House of Representatives Committee on Government Reform, Subcommittee Staff Report (December 2006) at www.discovery.org/f/1490

(3) Holden, "Defying Darwin"; Giles, "Peer-Reviewed Paper Defends Theory of Intelligent Design," 114; Agres, "Smithsonian 'Discriminated 'Against Scientist"; Stokes, " . . . And Smithsonian Has ID Troubles"; Monastersky, "Society Disowns Paper Attacking Darwinism".

(4) Powell, "Controversial Editor Backed"; Klinghoffer, "The Branding of a Heretic."

(5) Hagerty, "Intelligent Design and Academic Freedom.

(6) See www.talkreason.org/AboutUs.cfm.

(7) Gishlick, Matzke, and Elsberry, "Meyer's Hopeless Monster," www.talkreason.org/AboutUs.cfm.

(8) Jones, Kitzmiller et al. v. Dover Area School District.

(9) Matzke and Gross, "Analyzing Critical Analysis," 42.

(10) Matzke and Gross, "Analyzing Critical Analysis," 42
(11) Matzke and Gross, "Analyzing Critical Analysis," 42

(١٢) انظر في الفصل العاشر، الصفحة الخامسة عشر، الآليات الرئيسة الأربع التي يحدث فيها نسخة مزدوجة من DNA.

(١٣) لأمثلة، انظر:

Zhen et al., "Parallel Molecular Evolution in an Herbivore Community"; Liet al., "The Hearing Gene Prestin Unites Echolocating Bats and Whales"; Jones, "Molecular Evolution"; Christin, Weinreich, and Bresnard, "Causes and Evolutionary Significance of Genetic Convergence"; Rokas and Carroll, "Frequent and Widespread Parallel Evolution of Protein Sequences".

وطبقًا ل Dávalos وزملائه فقد "أظهر التحليل المتعمق لجينات محددة، في سياق دراسات التأريخ التطوري السلالي بناء على مواضع جينية متعددة، أن التطور التكيفي الموصل إلى التقارب، والذي كان يعتقد فيما مضى أنه نادر جدًا، هو كذلك مصدر للتضارب بين الأشجار التطورية الجينية كما هو التضارب بين أشجار النسب المورفولوجية والجزيئية".

("Understanding Phylogenetic Incongruence," 993).

(14) Shen et al., "Parallel Evolution of Auditory Genes for Echolocation in Bats and Toothed Whales"; Li et al., "The Hearing Gene Prestin Unites Echolocating Bats and Whales"; Jones, "Molecular Evolution."

(15) Khalturin et al., "More Than Just Orphans"; Merhej and Raoult, "Rhizome of Life, Catastrophes, Sequence Exchanges,

Gene Creations, and Giant Viruses"; Beiko, "Telling the Whole Story in a 10,000-Genome World."

(16) Suen et al., "The Genome Sequence of the Leaf-Cutter Ant Atta cephalotes Reveals Insights into Its Obligate Symbiotic Lifestyle".

(وجدنا أيضًا ٩٣٦١ بروتينا فريدًا خاصًا ب A.cephalotes، وهو ما يمثل أكثر من نصف بروتيومها المتوقع"٥).

انظر أيضًا Smith et al., "Draft Genome of the Globally Widespread and Invasive Argentine Ant (Linepithema humile)": ("كان هناك بالمجمل ٧١٨٤ جينة فريدة (٤٥%) في L. humile ذات القرابة بالأنواع الثلاثة الأخرى"، ٢).

(17) Tautz and Domazet-Lošo, "The Evolutionary Origin of Orphan Genes"; Beiko, "Telling the Whole Story in a 10,000-Genome World"; Merhej and Raoult, "Rhizome of Life, Catastrophes, Sequence Exchanges, Gene Creations, and Giant Viruses".

(18) Lyell, Principles of Geology.

(19) Pray and Zhaurova, "Barbara McClintock and the Discovery of Jumping Genes (Transposons)".

(20) Long et al., "The Origin of New Genes," 867.

(21) Nurminsky et al., "Selective Sweep of a Newly Evolved Sperm-Specific Gene in Drosophila," 574.

(22) Chen, DeVries, and Cheng, "Evolution of Antifreeze Glycoprotein Gene from a Trypsinogen Gene in Antarctic Notothenioid Fish," 3816.

(23) Courseaux and Nahon, "Birth of Two Chimeric Genes in the Hominidae Lineage".

(24) Knowles and McLysaght, "Recent de Novo Origin of Human Protein-Coding Genes".

(25) Wu, Irwin, and Zhang, "De Novo Origin of Human Protein-Coding Genes".

(26) Guerzoni and McLysaght, "De Novo Origins of Human Genes"; see also Wu, Irwin, and Zhang, "De Novo Origin of Human Protein-Coding Genes".

(27) Siepel, "Darwinian Alchemy.

(28) Siepel, "Darwinian Alchemy.

(29) Siepel, "Darwinian Alchemy".

(٣٠) كما ذكر Siepel "يثير منشأ تلك الجينات الجديدة كليًا سؤالًا حول كيفية إنتاج التطور لتلك الجينات الوظيفية بدءًا من DNA غير مرمز عبر الانتقاء الطبيعي. ورغم أن كل واحدة من هذه الجينات ليست بتعقيد عضو كامل، كالعين أو حتى كالريشة، لكنها تظل محتاجة لسلسلة من المتطلبات غير البسيطة لتصبح وظيفية، مثل وجود الـ ORF (الإطار المفتوح للقراءة)، وأنها ترمز لبروتين يخدم بعض الأهداف المفيدة، ووجود بروموتر قادر على بدء عملية انتساخ RNA، وأنها توجد في المناطق الكروماتينية مفتوحة البنية والتي تسمح بحدوث الانتساخ. كيف يمكن لكل قطع الأحجية تلك أن تجتمع في موضع واحد بعمليات عشوائية أو طفرات وتأشيب وجنوح جيني محايد...؟ ("Darwinian Alchemy").

(٣١) بالطبع يمكن للمرء أن يجادل بأن عمليات الطفرات التي يكثر ذكرها لشرح نشوء الجينات الجديدة من عليبات cassettes المعلومات الجينية الموجودة

مسبقًا، هي نفسها تشرح منشأ المعلومات في تلك العليبات في المقام الأول. تقترح تلك النظرة أن السيناريوهات التي استشهد بها Long لا تصادر على المطلوب بقدر ما تولد إحجامًا عن الشرح ينتهي عند النشوء الأساسي للمعلومات البيولوجية، أي عند نقطة نشأة الحياة الأولى. تقتضي تلك النظرة أن العمليات التي استشهد بها Long تشرح كل تزايد لاحق في المعلومات خلال مسار التطور البيولوجي، رغم أنها تبقي النشوء الأول للمعلومات البيولوجية و(السؤال القريب منه عن) النشوء الأول للحياة لغزًا. لكن تبقى هذه النظرة عاجزة عن شرح كيفية توليد ترتيبات محددة للرموز التي تكوِّن عليبات الـDNA تلك من خلال خلط عليبات معلومات موجودة مسبقًا.

(٣٢) Zhang, Zhang, and Rosenberg, "Adaptive Evolution of a Duplicated Pancreatic Ribonuclease Gene in a Leaf-Eating Monkey". تختلف الجينات التي ترمز لهذين البروتينين بـ١٢ نكليوتيد في تسلسلاتها المرمزة، وتُنتِج تلك الاختلافات بروتينين مختلفين عن بعضهما البعض في الكهرسلبية الكلية. وهذا الاختلاف يسمح بدوره للبروتين RNASE-1B بالعمل في درجة pH أقل من البروتين الآخر RNASE1 بقليل. ولأن الرئيسيات الأخرى تملك البروتين RNASE1 فقط، افترض كل من Zhang و Zhang و Rosenberg أن تطور الجينة الثانية (والبروتين) يمنح الأفراد ميزة انتقائية ضمن نوع السعادين. ولشرح منشأ الجينة الثانية، اقترحوا جينة كسلف مشترك، حدث عليها تضاعف جيني، وتراكم للطفرات المختلفة في النسخة المُضاعَفة (ال RNASE1B) بمرور الزمن.

(٣٣) في هذه الدراسة ("Adaptive Evolution of Cid, a Centromere-Specific Histone in Drosophila")، يستنتج Malik و Henikoff "حصول

التطور التكيفي على سلالات كل من D.melanogaster و D.simulans منذ انفصالهما عن الأصل المشترك"، وقد استندا في هذا الاستنتاج على تحليل نسبة الطفرات "المترادفة synonymous" في جينوم هذين الكائنين. وجدت الدراسة أن العديد من الاختلافات/الطفرات في تسلسلات الأسس النكليوتيدية قد غيرت تسلسل حمض أميني (وتسمى بالتالي طفرات "غير ترادفية")، بينما لم تقم البقية بذلك (والمسماة طفرات "صامتة أو ترادفية"). كانت نسبة هذه الاختلافات التي غيرت في تسلسل الحموض الأمينية أكثر من النسبة المتوقعة لو نشأت من التطور الحيادي لوحده، مما قاد المؤلفين لاستنتاج حصول التطور التكيفي على ذريات كل من D.melanogaster و D.simulans منذ افتراقهما عن الأصل المشترك". وبما أن بعض هذه الاختلافات موجودة في المناطق الرابطة للبروتينات على الصبغي، فلربما أثرت في قدرة البروتين الارتباطية. لكن كاتبي الورقة البحثية لا يحددان أي تأثير وظيفي معين لتلك التبدلات في الحموض الأمينية، ويبنيان مزاعمهما عن وجود "دليل قوي على حصول التطور التكيفي في هيستون Cid" فقط عبر مقارنة الأعداد النسبية لحفنة من التباينات الترادفية وغير الترادفية بين الجينات.

(٣٤) Enard et al., "Molecular Evolution of FOXP2, a Gene Involved in Speech and Language"; Zhang, Webb, and Podlaha, "Accelerated Protein Evolution and Origins of Human-Specific Features."

(٣٥) Enard et al., "Molecular Evolution of FOXP2, a Gene Involved in Speech and Language."

(٣٦) Long et al., "The Origin of New Genes," 866.

(37) Darnell and Doolittle, "Speculations on the Early Course of Evolution"; Hall, Liu, and Shub, "Exon Shuffling by Recombination Between Self-Splicing Introns of Bacteriophage T4"; Rogers, "Split-Gene Evolution"; Gilbert, "The Exon Theory of Genes"; Doolittle et al., "Relationships of Human Protein Sequences to Those of Other Organisms".

(٣٨) على سبيل المثال، ذكر Arli A. Parikesit وزملاؤه أنه "بالرغم من وجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين حدود الميدان البروتيني و حدود الإكسون، فإن حوالي ثلثي الميادين البروتينية المدروسة يتخلل سلاسل الDNA الخاص بها إنترون واحد على الأقل، وفي المتوسط، يحتوي الميدان على ٣ أو ٤ إنترونات" ("Quantitative Comparison of Genomic-Wide Protein Domain Distributions," 96–97) بعد حذف الاستشهادات الداخلية.

(39) Gauger, "Why Proteins Aren’t Easily Recombined".

(40) Axe, "The Limits of Complex Adaptation." See also Voigt et al., "Protein Building Blocks Preserved by Recombination".

(٤١) أثبت الخلط التجريبي للجينات فائدته فقط عندما يكون الجينان من الأبوين متشابهين إلى حد كبير. انظر Friedman, and Bailey-Kellogg, "Algorithms for Optimizing Cross-Overs in DNA Shuffling".

(٤٢) في العام ٢٠١٢، أعلنت مجموعة بحثية من جامعة واشنطن عن نجاحها في تصميم عدة طيات بروتينية ثابتة باستخدام قواعد قليلة، والكثير من التحليل المحوسب، والتجربة والخطأ (حوالي ١٠% من البروتينات المصممة انطوت كما هو متوقع). وبالرغم من ثبات طيات هذه البروتينات، لكنها لم تؤد أي وظيفة بيولوجية. واعترف الباحثون أن هناك ما يشبه التقايض بين الاستقرار والوظيفية في

البروتينات الطبيعية. وبقي علينا البحث فيما إن كانت طرائق هندسة التسلسلات قادرة على إنتاج طيات ثابتة وظيفية من لا شيء، حتى بالاستعانة بأفضل العقول والموارد الحاسوبية للعمل على هذه المعضلة. ولذا فهنالك سبب ضعيف يدعو للتفكير في أن خلط الإكسونات بعملية غير موجهة قادر على توليد بروتين وظيفي ومستقر. أنظر Nobuyasu et al., "Principles for Designing Ideal Protein Structures"; Marshall, "Proteins Made to Order".

(43) Altamirano et al., "Directed Evolution of New Catalytic Activity Using the Alpha/Beta-Barrel Scaffold." See also Altamirano et al., "Retraction: Directed Evolution of New Catalytic Activity Using the Alpha/Beta-Barrel Scaffold".

(44) Gauger, "Why Proteins Aren't Easily Recombined".

(45) Axe, "The Case Against Darwinian Origin of Protein Folds".

(٤٦) كمثال انظر إلى:

Long and Langley, "Natural Selection and the Origin of Jingwei, a Chimeric Processed Functional Gene in Drosophila"; Wang et al., "Origin of Sphinx, a Young Chimeric RNA Gene in Drosophila melanogaster"; Begun, "Origin and Evolution of a New Gene Descended from Alcohol Dehydrogenase in Drosophila".

(47) Long et al., "Exon Shuffling and the Origin of the Mitochondrial Targeting Function in Plant Cytochrome cl Precursor".

(48) Long et al., "Exon Shuffling and the Origin of the Mitochondrial Targeting Function in Plant Cytochrome cl Precursor".

(49) Nurminsky et al., "Selective Sweep of a Newly Evolved Sperm-Specific Gene in Drosophila".

(50) Nurminsky et al., "Selective Sweep of a Newly Evolved Sperm-Specific Gene in Drosophila".

(51) Brosius, "The Contribution of RNAs and Retroposition to Evolutionary Novelties".

(52) Begun, "Origin and Evolution of a New Gene Descended from Alcohol Dehydrogenase in Drosophila".

(53) Begun, "Origin and Evolution of a New Gene Descended from Alcohol Dehydrogenase in Drosophila".

(٥٤) من الأوراق البحثية التي استشهد بها Long والتي توظف الانتقاء الطبيعي رغم أن وظيفة الجينة مجهولة، وكذلك الوظيفة التي تخضع للانتقاء:

"Origin and Evolution of a New Gene Descended from Alcohol Dehydrogenase in Drosophila"; Long and Langley, "Natural Selection and the Origin of Jingwei, a Chimeric Processed Functional Gene in Drosophila"; Johnson et al., "Positive Selection of a Gene Family During the Emergence of Humans and African Apes".

(55) Logsdon and Doolittle, "Origin of Antifreeze Protein Genes".

(56) Courseaux and Nahon, "Birth of Two Chimeric Genes in the Hominidae Lineage".

(57) Paulding, Ruvolo, and Haber, "The Tre2 (USP6) Oncogene Is a Hominoid-Specific Gene".

(58) Chen, DeVries, and Cheng, "Convergent Evolution of Antifreeze Glycoproteins in Antarctic Notothenioid Fish and Arctic Cod".

(59) Logsdon and Doolittle, "Origin of Antifreeze Protein Genes".

(60) Johnson et al., "Positive Selection of a Gene Family During the Emergence of Humans and African Apes".

(61) Nurminsky et al., "Selective Sweep of a Newly Evolved Sperm -Specific Gene in Drosophila"; Chen, DeVries, and Cheng, "Evolution of Antifreeze Glycoprotein Gene from a Trypsinogen Gene in Antarctic Notothenioid Fish"; Courseaux and Nahon, "Birth of Two Chimeric Genes in the Hominidae Lineage"; Knowles and McLysaght, "Recent de Novo Origin of Human Protein-Coding Genes"; Wu, Irwin, and Zhang, "De Novo Origin of Human Protein-Coding Genes"; Siepel, "Darwinian Alchemy."

الفصل الثاني عشر

(1) Frazzetta, "From Hopeful Monsters to Bolyerine Snakes?" 62–63.

(2) Frazzetta, "From Hopeful Monsters to Bolyerine Snakes?" 63.

(3) Gould, "Return of the Hopeful Monsters," 28.

(4) Frazzetta, "From Hopeful Monsters to Bolyerine Snakes?" 63.

(5) Frazzetta, Complex Adaptations in Evolving Populations, 20.

(٦) كما كتب داروين في كتابه أصل الأنواع: "إن كان لابد من مقارنة العين بالآلات البصرية، فعلينا أن نتخيل شريحة سميكة من النسيج الشفاف، مع عصب حساس للضوء تحتها، ومن ثم نفترض تغير سماكة كل جزء من هذه الشريحة بشكل مستمر وبطيء، بينما تنفصل إلى طبقات مختلفة الكثافة والسماكة، تتوضع على مسافات مختلفة عن بعضها البعض، ومن ثم سيتغير شكل كل سطح بشكل بطيء."(١٨٨-٨٩).

(7) Frazzetta, Complex Adaptations in Evolving Populations, 21.

(8) Frazzetta, "Modeling Complex Morphological Change in Evolution," 129.

(9) Frazzetta, "Modeling Complex Morphological Change in Evolution," 130.

(10) Ehrlich and Holm, The Process of Evolution, 157.

(١١) إلى أن تمَّ تنفيذ التجربة الشهيرة من قبل Oswald Avery من معهد Rockefeller في العام ١٩٤٤، ظل العديد من البيولوجيين يتشككون بإمكانية حمل البروتينات للمعلومات الجينية. Meyer, Signature in the Cell, 66.
Avery, MacCleod, and McCarty, "Induction of Transformation by a Deoxyribonucleic Acid Fraction Isolated from Pneumococcus Type III".

(12) Bateson, "Heredity and Variation in Modern Lights," 83–84.

(13) Withgott, "John Maynard Smith Dies".

(14) Salisbury, "Natural Selection and the Complexity of the Gene," 342–43.

(15) Maynard Smith, "Natural Selection and the Concept of a Protein Space," 564.

(١٦) كما كتب Maynard Smith في مجلة Nature: "إن كان التطور من خلال الانتقاء الطبيعي يحدث، فسنجد أن البروتينات تشكل شبكة مستمرة يمكن أن تشق طريقها بواسطة خطوات طفرية متكاملة دون المرور بالأشكال المتوسطة اللاوظيفية" ("Natural Selection and the Concept of a Protein Space," 564).

(17) Maynard Smith, "Natural Selection and the Concept of a Protein Space," 564, emphasis added.

(18) Maynard Smith, "Natural Selection and the Concept of a Protein Space," 564.

(19) Orr, "The Genetic Theory of Adaptation," 123.

(20) Behe and Snoke, "Simulating Evolution by Gene Duplication of Protein Features That Require Multiple Amino Acid Residues".

(21) Wen-Hsiung, Molecular Evolution, 427

(22) Wen-Hsiung, Molecular Evolution, 427

(23) Behe, The Edge of Evolution, 54

(24) Powerball—Prizes and Odds," Powerball, http://www.powerball.com/powerball/pb_prizes.asp

(25) "Powerball—Prizes and Odds," Powerball, http://www.powerball.com/powerball/pb_prizes.asp

(26) Behe and Snoke, "Simulating Evolution by Gene Duplication of Protein Features That Require Multiple Amino Acid Residues," 2661.

(27) Lynch and Conery, "The Origins of Genome Complexity," 1401–02.

(28) Behe and Snoke, "Simulating Evolution by Gene Duplication of Protein Features That Require Multiple Amino Acid Residues," 2661.

(٢٩) في حجة Behe، لا يهم سواءٌ ظهرت طفرات خصلة CCC واحدة بصورة متقطعة أو بنمط متناسق. لم يكن Behe يحسب المدة الزمنية اللازمة لظهور خصلة واحدة CCC. تظهر تلك المقاومة للكلوروكين مرة واحدة فقط في كل ١٠ ^٢٠^ خلية ملاريا، وقد كانت حقيقة تجريبية مبينة على الدراسات الصحية العامة، وليست من حسابات زمن الانتظار المبنية على نماذج الوراثة السكانية. [انظر White, "Antimalarial Drug Resistance,"1085.] وما حسبه Behe كان المدة اللازمة لظهور خصلة مفترضة تتطلب طفرتين متناسقتين، كل منهما بتعقيد CCC مفردة، لكي تقوم بما سماه "CCC مزدوجة". سواء تطلب توليد CCC

المفردة طفرات متناسقة أم لا فالأمر غير ذي صلة. وقد أخطأ نقاده فهم هذا المنظور من الحجة إلى حد كبير. [انظر "Falling Over the Edge," 1055–56; Gross, "Design for Living," 73; Coyne, "The Great Mutator (Review of The Edge of Evolution, by Michael J. Behe)," 40–42; Nicholas J. Matzke, "The Edge of Creationism," 566–67.] من الجدير بالذكر أن حسابات Behe كانت لخصلة مفترضة، ورغم ذلك فإنه تابع القول على أسس بيولوجية مستقلة بأن "الحياة تطفح"(٦٣) بخصال تتطلب ظهور CCC مزدوجة.

(٣٠) Behe, The Edge of Evolution, 135.

(٣١) يفترض هذا أن كل كائن من هذه المتعضيات سيخضع للانتقاء من أجل تلك الخصلة المحددة–وهو افتراض غير واقعي على الإطلاق.

(32) Durrett and Schmidt, "Waiting for Two Mutations," 1507

(33) Behe, The Edge of Evolution, 84–102

(34) Gauger and Axe, "The Evolutionary Accessibility of New Enzyme Functions: A Case Study from the Biotin Pathway".

(35) Gauger et al., "Reductive Evolution Can Prevent Populations from Taking Simple Adaptive Paths to High Fitness"; Durrett and Schmidt, "Waiting for Two Mutations".

الفصل الثالث عشر

(1) Nüsslein-Volhard and Wieschaus, "Mutations Affecting Segment Number and Polarity"; Wieschaus, "From Molecular Patterns to Morphogenesis ."

كما علق: "إن كان انتساخ جينة واحدة ضروريًا للنماء الجنيني، فستنمو تلك الأجنة متماثلة اللواقح homozygous [أي تلك التي تفتقد كلا النسختين من الجينة] بشكل شاذ بغياب تلك الجينة ... وطبقًا لتلك الأضرار، سيكون من الممكن معرفة الدور الطبيعي لكل جينة (٣١٦).

(2) St. Johnston, "The Art and Design of Genetic Screens," 177.

(٣) تم تسجيل الاقتباسات من ملاحظات حديثة مأخوذة من قبل فيلسوف البيولوجيا Paul Nelson والذي كان حاضرًا في تلك المحاضرة.

(٤) تم تسجيل الاقتباسات من ملاحظات حديثة مأخوذة من قبل فيلسوف البيولوجيا Paul Nelson والذي كان حاضرًا في تلك المحاضرة.

(5) Arthur, The Origin of Animal Body Plans, 21; Cameron et al., "Evolution of the Chordate Body Plan: New Insights from Phylogenetic Analyses of Deuterostome Phyla"; Michael, "Arthropods: Developmental Diversity Within a (Super) Phylum"; Peterson and Davidson, "Regulatory Evolution and the Origin of the Bilaterians"; Carroll, "Endless Forms: The Evolution of Gene Regulation and Morphological Diversity"; Halder et al., "Induction of Ectopic Eyes by Targeted Expression of the Eyeless Gene in Drosophila".

(6) Arthur, The Origin of Animal Body Plans, 21.

(7) Van Valen, "How Do Major Evolutionary Changes Occur?" 173

(8) Thomson, "Macroevolution," 111
(9) John and Miklos, The Eukaryote Genome in Development and Evolution, 309.
(10) Thomson, "Macroevolution".
(١١) انظر في الإصدار الخاص لمجلة Development (عدد ديسمبر ١٩٩٦) المكرس للتطفير واسع النطاق لنموذج من الفقاريات Danio rerio (سمك زيبرا المخطط)، وانظر بالخصوص: Haffter et al., "The Identification of Genes with Unique and Essential Functions in the Development of the Zebrafish, Danio rerio"; أو انظر تجارب التطفير على ذبابة الفاكهة الملخصة في Bate and Arias, eds., The Development of Drosophila melanogaster، وقد لخصوا الدليل من مجال واسع من الأنظمة الحيوانية، كما كتب Wallace Arthur "تشترك تلك الجينات التي تتحكم بعمليات التنشؤ المبكر الجوهرية في تشييد المخطط الجسدي الأساسي. عادة ما تكون الطفرات في تلكم الجينات ضارة للغاية، ويمكننا تخيل أن تلك هي الحالة على الدوام" (The Origin of Animal Body Plans, 14). يتابع Arthur فيتوقع أن "تكون تلك الطفرات مفيدة في بعض الأحيان" (١٥) بسبب اختلاف تلك الجينات المنظمة للنماء بين الشعب الحيوانية، لكنه لا يقدم أي دليل على مثل هذه الطفرات المفيدة، غير الاستنباط من افتراضه السابق بوجود سلف مشترك.
(12) Fisher, The Genetical Theory of Natural Selection, 44.
(13) Wallace, "Adaptation, Neo-Darwinian Tautology, and Population Fitness," 70.

(14) Nüsslein-Volhard and Wieschaus, "Mutations Affecting Segment Number and Polarity in Drosophila"; Lawrence and Struhl, "Morphogens, Compartments and Pattern".

(15) Van Valen, "How Do Major Evolutionary Changes Occur?" 173.

(16) McDonald, "The Molecular Basis of Adaptation," 93.

(17) McDonald, "The Molecular Basis of Adaptation," 93.

(18) Wimsatt, "Generativity, Entrenchment, Evolution, and Innateness: Philosophy, Evolutionary Biology, and Conceptual Foundations of Science"; Wimsatt and Schank, "Generative Entrenchment, Modularity and Evolvability: When Genic Selection Meets the Whole Organism".

(١٩) ذكر Nelson وجود تفسير واحد لذلك التعميم يجدر ذكره: فقدان البنى. أظهرت العديد من الحالات الموثقة على نطاق واسع (بما فيها حيوانات الكهوف، طيور الجزر وحشراتها، وأسماك البحر والمياه العذبة) أن العديد من الحيوانات ستتحمل، أو في الحقيقة ستزدهر، بعد فقدان شيء من خصالها بالطفرات –طالما أن هذه الخصال غير مهمة للنجاة في بعض البيئات المتخصصة. فعلى سبيل المثال لا تنتج الطفرات الكبيرة المزيلة للبصر أي تأثيرات ضارة على بعض الأنواع كالأسماك الكهفية العمياء والتي لم تعد تحتاج للرؤية بعد الآن. وبشكل مشابه، فالطفرات الكبيرة التي تخرب تشكل الأجنحة في الحشرات –والتي تكون مدمرة بشكل تقليدي في البيئة التي تتطلب أجنحة فعالة وتكون فيها أداة ضرورية– ربما تكون محتملة بشكل جيد في بيئة جزيرة لا يضطر فيها النوع للطيران. على أي حال لا تساعد تلك العملية المولدة لتلك الاستثناءات في شرح أصل الأشكال

كالذي حدث في الانفجار الكامبري. ومن الواضح أن عمليةً تنتج فقدًا في الشكل والبنية لا يمكن الاعتماد عليها لشرح نشوء الشكل والبنية في المقام الأول.

(20) Darwin, On the Origin of Species, 108.

(21) Løvtrup, "Semantics, Logic and Vulgate Neo-Darwinism," 162.

(22) Britten and Davidson, "Gene Regulation for Higher Cells," 57.

(23) Britten and Davidson, "Gene Regulation for Higher Cells," 57.

هنالك استثناء واحد لتلك القاعدة وهي خلايا الدم الحمراء لدى البشر.

(24) Britten and Davidson, "Gene Regulation for Higher Cells," 57.

(25) Britten and Davidson, "Gene Regulation for Higher Cells," 353.

(26) Cameron et al., "A Sea Urchin Genome Project," 9514.

(27) Oliveri, Tu, and Davidson, "Global Regulatory Logic for Specification of an Embryonic Cell Lineage".

(28) Davidson, The Regulatory Genome, 16.

(29) Davidson, The Regulatory Genome, 16.

(30) Davidson, "Evolutionary Bioscience as Regulatory Systems Biology," 38.

(31) Davidson, "Evolutionary Bioscience as Regulatory Systems Biology," 40, emphasis added.

(٣٢) كما شرح Davidson، "إن التدخل في التعبير الجيني عن أي واحدة من [dGRNs متعددة الارتباط] بطفرة أو تلاعب تجريبي له آثار شديدة في طور النماء

الذي تبدؤه. يبرز هذا المصونية الانتقائية لكامل الدوائر الثانوية، أثناء مكابدتها الكوارث النمائية". (Davidson and Erwin, "An Integrated View of Precambrian Eumetazoan Evolution," 8).

(33) Davidson, The Regulatory Genome, 195
(34) Davidson, "Evolutionary Bioscience as Regulatory Systems Biology," 35–36.

الفصل الرابع عشر

(1) Spemann and Mangold, "Induction of Embryonic Primordia by Implantation of Organizers from a Different Species".

(2) Harvey, "Parthenogenetic Merogony or Cleavage without Nuclei in Arbaciapunctulata";

"A Comparison of the Development of Nucleate and Non-nucleate Eggs of Arbaciapunctulata".

(3) Brachet, Denis, and De Vitry, "The Effects of Actinomycin D and Puromycin on Morphogenesis in Amphibian Eggs and Acetabulariamediterranea".

(4) Masui, Forer, and Zimmerman, "Induction of Cleavage in Nucleated and Enucleated Frog Eggs by Injection of Isolated Sea-Urchin Mitotic Apparatus."

(5) Müller and Newman, "Origination of Organismal Form," 8

(6) Müller and Newman, "Origination of Organismal Form," 8

(7) Müller and Newman, "Origination of Organismal Form," 7

(8) Müller and Newman, "Origination of Organismal Form," 7

أو كما شرح Müller أيضًا بأن "النظريات التطورية المعاصرة لا تملك جوابًا مرضيًا" حين تجيب عن سؤال كيفية ترتيب "العناصر البنيوية المخصصة" بأنه نتيجة "تطور الشكل المتعضي" Müller,"Homology," 57–58.

(9) Levinton, Genetics, Paleontology, and Macroevolution, 485

(١٠) في العام ١٩٤٢ صاغ Conrad Waddington مصطلح "فوق جينية epigenetics" للإشارة إلى دراسة "العمليات المشتركة في الآلية التي تملك فيها الجينات تأثيرات ظاهرية" ("The Epigenotype," 1). واستخدمه بعض علماء البيولوجيا المعاصرين للإشارة إلى المعلومات داخل البنية الصبغية، والتي لا تعتمد

على تسلسل الدنا المُضّمن فيه. وسأستخدمه للإشارة إلى أي معلومات بيولوجية غير مرمزة في تسلسل الدنا.

(11) Goodwin, "What Are the Causes of Morphogenesis?"; Nijhout, "Metaphors and the Role of Genes in Development"; Sapp, Beyond the Gene; Müller and Newman, "Origination of Organismal Form"; Brenner, "The Genetics of Behaviour"; Harold, The Way of the Cell

(12) Harold, The Way of the Cell, 125.

(13) Harold, "From Morphogenes to Morphogenesis," 2774; Moss, What Genes Can't Do .

بالطبع، ترتبط العديد من البروتينات كيميائيًا مع بعضها البعض لتشكل المعقدات والبنى ضمن الخلايا. لكن خصائص "التنظيم الذاتي" تلك لا تفسر بشكل كامل المستويات العليا من التنظيم في الخلايا أو الأعضاء أو المخططات الجسدية. أو كما شرح Moss: "لا الDNA ولا أي بنية بلورية لا دورية أخرى يمكن أن تشكل مستودعًا فريدًا للثباتية الموروثة في الخلية، بالإضافة إلى أن كيمياء الحالة الصلبة لا تشكل أساسًا فريدًا ولا حتى وجوديًا أو سببيًا متميزًا لشرح وجود واستمرارية النظام في العالم الحي..." Moss, What Genes Can't Do, 76.

(14) Wells, "Making Sense of Biology," 121.

(15) Harold, The Way of the Cell, 125.

(16) Ally et al., "Opposite-Polarity Motors Activate One Another to Trigger Cargo Transport in Live Cells"; Gagnon and Mowry, "Molecular Motors".

(17) Marshall and Rosenbaum, "Are There Nucleic Acids in the Centrosome?"

(18) Poyton, "Memory and Membranes"; Edidin, "Patches, Posts and Fences".

(19) Frohnhöfer and Nüsslein-Volhard, "Organization of Anterior Pattern in the Drosophila Embryo by the Maternal Gene Bicoid"; Lehmann and Nüsslein-Volhard, "The Maternal Gene Nanos Has aCentral Role in Posterior Pattern Formation of the Drosophila Embryo".

(20) Roth and Lynch, "Symmetry Breaking During Drosophila Oogenesis".

(21) Skou, "The Identification of the Sodium-Pump as the Membrane-Bound Na+ /K+-ATPase".

(22) Levin, "Bioelectromagnetics in Morphogenesis".

(23) Shi and Borgens, "Three-Dimensional Gradients of Voltage During Development".

(24) Schnaar, "The Membrane Is the Message," 34–40.

(25) Schnaar, "The Membrane Is the Message," 34–40; Gabius et al., "Chemical Biology of the Sugar Code," 740-764; Gabius, "Biological Information Transfer Beyond the Genetic Code: TheSugar Code," 108–121

(26) Gabius et al., "Chemical Biology of the Sugar Code," 741. See also Gabius, "Biological Information Transfer Beyond the Genetic Code: The Sugar Code," 108–21.

(27) Gabius, "Biological Information Transfer Beyond the Genetic Code," 109; Gabius et al.,"Chemical Biology of the Sugar Code,"741.

(28) Spiro, "Protein Glycosylation".

(29) Palade, "Membrane Biogenesis".

(30) Babu, Kriwacki, and Pappu, "Versatility from Protein Disorder"; Uversky and Dunker, "Understanding Protein Non-Folding"; Fuxreiter and Tompa, "Fuzzy Complexes".

(31) Wells, "Making Sense of Biology: The Evidence for Development by Design," 121.

(32) McNiven and Porter, "The Centrosome".

(33) Lange et al., "Centriole Duplication and Maturation in Animal Cells"; Marshall and Rosenbaum, "Are There Nucleic Acids in the Centrosome? "



(34) Sonneborn, "Determination, Development, and Inheritance of the Structure of the Cell Cortex,"1–13; Frankel, "Propagation of cortical differences in tetrahymena," 607–623; Nanney, "The ciliates and the cytoplasm," 163–170.

(35) Moss, What Genes Can’t Do

(36) Harold, "From Morphogenes to Morphogenesis," 2767.

(37) See Müller and Newman, "The Origination of Organismal Form," 7

(38) Thomson, "Macroevolution," 107

(39) Miklos, "Emergence of Organizational Complexities During Metazoan Evolution".

(40) Gilbert, Opitz, and Raff, "Resynthesizing Evolutionary and Developmental Biology," 361. The Brian Goodwin quotation is from How the Leopard Changed Its Spots.

(٤١) Gilbert, Opitz, and Raff, "Resynthesizing Evolutionary and Developmental Biology". **وقد جادلوا تحديدًا بإمكانية إنتاج التغيرات في الساحات التخلقية الجنينية** morphogenetic fields **تغيرات على مستوى كبير في البرامج النمائية، ومن ثم في النهاية، تغيرات في المخططات الجسدية للكائنات الحية. ومع ذلك لم يقدموا أي دليل على إمكانية تغيير تلك الساحات –إن وجدت حقًا– لإنتاج تنوعات مفضلة في المخطط الجسدي، رغم أن مثل هذه الحالات ضرورية لأي نظرية سببية حول التطور الكبروي.**

(42) Webster, How the Leopard Changed Its Spots, 33; Webster and Goodwin, Form and Transformation, x; Gunter Theißen, "The Proper Place of Hopeful Monsters in Evolutionary Biology," 351; Marc Kirschner and John Gerhart, The Plausibility of Life, 13; Schwartz, Sudden Origins, 3, 299–300; Erwin, "Macroevolution Is More Than Repeated Rounds

of Microevolution"; Davidson, "Evolutionary Bioscience as Regulatory Systems Biology," 35; Koonin, "The Origin at 150," 473–5; Conway Morris, "Walcott, the Burgess Shale, and Rumours of a Post-Darwinian World," R928–R930; Carroll, "Towards a New Evolutionary Synthesis," 27; Wagner, "What Is the Promise of Developmental Evolution?"; Wagner and Stadler, "Quasi-independence, Homology and the Unity-of Type"; Becker and Lönnig, "Transposons: Eukaryotic," 529–39; Lönnig and Saedler, "Chromosomal Rearrangements and Transposable Elements," 402; Müller and Newman, "Origination of Organismal Form," 7; Kauffman, At Home in the Universe, 8; Valentine and Erwin, "Interpreting Great Developmental Experiments," 96; Sermonti, Why Is a Fly Not a Horse?; Lynch, The Origins of Genome Architecture, 369; Shapiro, Evolution, 89, 128.

يقدم المنظور الخاص ب Eugene Koonin (البيولوجي في المركز الوطني لمعلومات التقانة الحيوية في المعاهد الوطنية للصحة NIH) مثالًا جيدًا عن الشكوكية skepticism. فقد صرَّح بالقول: "لقد انهار صرح النظرية التركيبية الحديثة، ويبدو أنَّ الانهيار يتجاوز قدرة الإصلاح ... يبدو وإلى حد ما أن ملخص الحال، في الذكرى الخمسين بعد المائة لكتاب أصل الأنواع، صادم. فقد استبدلت جميع العقائد الحديثة حول التركيبية الحديثة، في الحقبة ما بعد الجينومية، برؤى أحدث وأعقد بكثير، إن لم تنعكس تمامًا. لذا، ولكيلا نجمّل ألفاظنا، فقد زالت التركيبة الحديثة، فما الذي سيأتي بعدها؟ تقترح محاضرة داروينية في عام ٢٠٠٩ أن القادم هو مرحلة ما بعد الحداثة postmodern، وعما قريب تظهر نظرية تركيبية ما بعد حداثية. ففوق كل شيء تمتاز حالة كتلك بتعددية العمليات والأنماط التطورية التي ترفض أي تعميم صريح. Koonin, "The Origin at 150," 473–

75. David J. Depew and Bruce H.Weber, writing in the journal Biological Theory, are even more frank: "Darwinism in its currentscientific incarnation has pretty much reached the end of its rope" (٨٩–١٠٢).



الفصل الخامس عشر

(1) Conway Morris, "Walcott, the Burgess Shale and Rumours of a Post-Darwinian World," R928
(2) Conway Morris, "Walcott, the Burgess Shale and Rumours of a Post-Darwinian World," R930
(3) Mazur, The Altenberg 16: An Exposé of the Evolution Industry. See also Whitfield, "Biological Theory".

(4) Budd, quoted in Whitfield, "Biological Theory," 282.

(5) Valentine and Erwin, "Interpreting Great Developmental xperiments,"97
(6) Endler, Natural Selection in the Wild, 46, 248; Lewontin, "Adaptation," 212–30
(7) Gerhart and Kirschner, The Plausibility of Life: Resolving Darwin’s Dilemma, 10
(8) Kauffman, The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution.

(٩) في كتاب Origins of Order يسعى Kauffman إلى عرض إمكانية مساعدة عملية الترتيب الذاتي في شرح نشوء الحياة الأولى ونشوء الأشكال الحياتية التالية معًا، بما فيها المخططات الجسدية الحيوانية. وقد اختبرت في كتابي Signature in the Cell، اقتراح كوفمان تحديدًا حول شرح نشوء الحياة الأولى. وهنا سأفحص اقتراحه حول نشوء الأشكال الحيوانية.

(10) Kauffman, The Origins of Order, 443
(11) Kauffman, The Origins of Order, 443
(12) Kauffman, The Origins of Order, 443
(13) Kauffman, The Origins of Order, 537
(14) Kauffman, The Origins of Order, 539

(15) Kauffman, The Origins of Order, 549–66
(16) Kauffman, The Origins of Order, 590
(17) Kauffman, The Origins of Order, 298
(18) Kauffman, The Origins of Order, 537, emphasis added
(19) Kauffman, At Home in the Universe, 68
(20) Kauffman, At Home in the Universe, 47–92
(21) Kauffman, At Home in the Universe, 71
(22) Kauffman, At Home in the Universe, 75–92
(23) Kauffman, At Home in the Universe, 86–88
(24) Kauffman, At Home in the Universe, 85, emphasis added
(25) Kauffman, At Home in the Universe, 53, 89, 102
(26) Kauffman, At Home in the Universe, 200

(٢٧) بالفعل فقد قال Kauffmann بوضوح أن "الطفرات التي تصيب المراحل المبكرة من النماء تعطله أكثر من الطفرات التي تطرأ في المراحل المتأخرة منه. والطفرات التي تعطل تشكل العمود الفقري والنخاع الشوكي قاتلة أكثر من الطفرات التي تؤثر على عدد الأصابع المتشكلة". (At Home in the Universe, 200).

(28) Newman, "Dynamical Patterning Modules".

(29) Newman, "Dynamical Patterning Modules," 296; see also "The Developmental Genetic Toolkit and the Molecular Homology-Analogy Paradox".

(30) Newman, "Dynamical Patterning Modules," 284
(31) Newman, "Dynamical Patterning Modules," 284
(32) Newman, "Dynamical Patterning Modules," 285
(33) Newman, "Dynamical Patterning Modules," 285
(34) Newman, "Animal Egg as Evolutionary Innovation," 570
(35) Newman, "Animal Egg as Evolutionary Innovation"; "Dynamical Patterning Modules".

(36) Newman, "Animal Egg as Evolutionary Innovation," 470–71; see also Newman and Bhat,"Dynamical Patterning Modules: Physico-Genetic Determinants".

(٣٧) في ورقة بحثية منشورة في العام ٢٠١١، سعى Newman إلى شرح المراحل الحرجة من نشوء البيضة أثناء نماء الحيوان، وهي أحجية قديمة لم تجد الداروينية الجديدة حلًا لها، وقد قام بذلك بأن اقترح مجدَّدًا وجود أدوار متبادلة بين أدوات التنظيم الجيني النمائي وجمعٍ من عمليات التنظيم الذاتي والعمليات فوق الجينية. فتصور نشوء البيضة في ثلاث خطوات. الأولى، يرى فيها بأن التفاعل بين "أدوات التوالي الجينية النمائية وعمليات فيزيولوجية محددة [ينظم] المخطط الجسدي الحيواني البدئي بشكل مستقل عن مرحلة البيضة". ثانيًا، يتصور ظهور "طليعة البيضة" كنتيجة "للتخصص الخلوي التكيفي" أثناء تحررها من تجمعات الخلايا الأخرى. ثالثًا، يقول بأنه مذ عرفنا دور عمليات التنظيم الذاتي (مثل "عمليات إطراز البيضة egg-patterning processes") في التعرف على ما تتضمنه السيتوبلازما الخلوية خلال التنشؤ، أصبح من الممكن توقع حدوث تلك العمليات في الماضي، صاقلة طليعة البيضة proto-egg إلى شيء أكثر شبهًا بمرحلة البيضة في النماء الحيواني المشاهد اليوم. كما أصرَّ، فوق ذلك، على أن البنى المحرضة بعمليات إطراز البيضة هذه غير تكيفية "بالمعنى الذي يقول بالوصول التدريجي إليها بعد عدة دورات انتقائية"، بل نتجت من العمليات الفيزيائية والكيميائية ذاتية التنظيم. انظر Newman, "Animal Egg as Evolutionary Innovation: A Solution to the ‘Embryonic Hourglass’ Puzzle," 467–83.

(38) Khalturin et al., "More Than Just Orphans: Are Taxonomically-Restricted Genes Important in Evolution?"

404–413; Tautz and Domazet-Lošo, "The evolutionary origin of orphan genes," 692–70;Beiko, "Telling the Whole Story in a 10,000-Genome World," 34

(٣٩) انظر النقاش في الفصل الرابع عشر الصفحات 277–81.

(٤٠) انظر النقاش في الفصل الرابع عشر الصفحات 277–81.

(41) Pivar, Lifecode; On the Origin of Form; Prigogine, Nicolis, and Babloyantz, "Thermodynamics of Evolution"; Wolfram, "A New Kind of Science," 398

(42) Meyer, Signature in the Cell, 254–55

(43) Yockey, "A Calculation of the Probability of Spontaneous Biogenesis by Information Theory,"380

(٤٤) للأمثلة انظر في اللعبة الحاسوبية الشائعة بين هواة المبرمجين "Game of Life," والتي صممها الرياضي البريطاني John Horton Conway.

(45) Kauffman, "The End of a Physics Worldview: Heraclitus and the Watershed of Life".

(46) Kauffman, "The End of a Physics Worldview: Heraclitus and the Watershed of Life".

الفصل السادس عشر

(1) See Gould, "Is a New and General Theory of Evolution Emerging?" 120.

(٢) لم يستخدم Gould مصطلح "طفرات كبروية" في أي مكان من مقاله المشهور في العام ١٩٨٠ ("Is a New and General Theory of Evolution Emerging?"). إلا أنه استخدم مصطلح "الطفرات الصغروية" انظر (١٢٠) وتحدى كفاية الطفرات الصغروية المتراكمة على تفسير التطور الكبروي (وهو مصطلح استخدمه في المقال).

(3) Goldschmidt, The Material Basis of Evolution, 395.

(٤) ظهر مبكرًا رفض الطفرات واسعة النطاق والمؤثرة على المورفولوجيّة والوظيفة بكونها تكيفات فاشلة، لكنها بقيت كأحد الجوانب المعرِّفة للنظرية التركيبية الدارونية الجديدة. فعلى سبيل المثال أعطى نصير الداروينية الجديدة وعالم الأحافير ومنظِّر التطور الكبروي Jeffrey Levinton، تصورًا للشكوكية المنتشرة حول معقولية التطور بهكذا طفرات في كتابه المهم الذي يناقش التطور الكبروي:

كقاعدة عامة، تنتج الطفرات النمائية الكبيرة صورة مسخ ميؤوس منه، بدلًا من إحداث تغيرات مفيدة. تتحمل التأثيرات المتعددة للجينات وفوق الجينات [أي: آثارها الجانبية] جزءًا كبيرًا في أي اضطراب نمائي كبير. ولذا فمن غير المحتمل إنتاج تلك الطفرات المؤثرة على أي نمط نمائي بدئي أي كائن حي. لم تُعزل كفايةً حتى الآن تلك الجينات التي تنشط مفاتيحَ القوالب البدئية عن أجزاء أخرى من النمط الظاهري لكي تتوقع قفزات كبيرة. مسوخ سايكلوب القريدس البحري Artermia ميتة لا محالة. والجينات المثلية homeotic الطافرة في Drosophila melanogaster لها المصير نفسه ... إنه تخريب [أي أن لتلك

الطفرات تأثيرات قاسية على الأجزاء الأخرى من النمط الظاهري ... ولذا، يقترح الدليل المتراكم أن الطفرات النمائية الكبرى ذات أهمية ضئيلة في التطور. فالآثار الجانبية مدمرة. (Genetics, Paleontology,and Macroevolution, 252–54)

(٥) تنشأ الصعوبة الأساسية في الاعتماد على طفرات نمائية كبروية لتوليد أشكال مبتكرة (والتي صرَّح بها العديد من الداروينيين الجدد) من عواقب التغير السريع في أنظمة المفاتيح الجينية والنمائية الموجهة لتحقيق "هدف" (شكل بالغ مستقر) لتصير مفاتيح نظام آخر موجه لتحقيق شكل آخر. يشرح هذا الأمر عالم الوراثة Bruce Wallace، الذي تدرب على يد Theodosius Dobzhansky في جامعة كولومبيا، بقوله:

يمكن تصور المخطط الجسدي لكائن حي...على أنه ترتيب لمفاتيح جينية تتحكم بالمسار الجنيني والنمائي للفرد، وعلى هكذا تحكم أن يعمل في التوقيت الملائم (ملائم عمومًا وملائم من ناحية تسلسل الأحداث) في الأنسجة المتمايزة بشكل منفصل. يقوم كل من الانتقاء الطبيعي والاصطناعي، الذي يقود لتغيرات شكلية وتعديلات نمائية، بتعديل إعدادات تلك المفاتيح ومن يطلقها ... تكمن الصعوبة الشديدة، عند تحويل كائن حي إلى آخر حي، في صعوبة إعادة ضبط مفاتيح التحكم العديدة تلك بأسلوب يسمح للأفراد بالنماء (الجسدي) بشكل منتظم". ("Adaptation, Neo-Darwinian Tautology, and Population Fitness,"70).

يقترح نقاشنا في الفصل الثالث عشر أن الحاجة إلى تغيير هذه المفاتيح المتكاملة وظيفيًا يضع عقبة أيضًا أمام فعالية الآلية الداروينية الجديدة.

(6) Gould, "Is a New and General Theory of Evolution Emerging?" 127.

(٧) لم نستعرض في هذا الفصل بالطبع كل نظريات ما بعد الداروينية الجديدة بمجرد هذا الاستعراض لأولئك المتنافسين البارزين الأربع. ففي ورقةٍ مراجعةٍ علمية، فحص عالم التطور Armin Moczek من جامعة Indiana ثلاث أفكار تطورية أخرى تحاول التحرك إلى ما بعد ما يسميه Moczek "الافتراضات غير الواقعية وغير المثمرة" في النظرية الداروينية الجديدة القائمة على مركزية الجينات. تلك الأفكار بالترتيب هي: نظرية "التباين الميسر facilitated variation" وواضعها Gerhart وKirschner ونظرية التكيف الجيني genetic accommodation ونظرية بناء العش niche construction. انظر Moczek, "The Nature of Nurture and the Future of Evodevo." وقد قمنا بوضع شرح قصير ونقد لتلك النماذج على موقع الكتاب الإلكتروني www.darwinsdoubt.com.

(8) Gould, "Is a New and General Theory of Evolution Emerging".

(9) Gilbert, Opitz, and Raff, "Resynthesizing Evolutionary and Developmental Biology," 362.

(١٠) يقول عالما البيولوجيا النمائية Michael Palopoli وNipam Patel إن افتراض قدرة البيولوجيا التطورية على تجاهل دور البيولوجيا النمائية يعود جزئيًا للحاجة إلى خبراء الوراثة السكانية لوضع افتراضات مبسطة "تسهل الحسابات الرياضية". وقد شرحا الأمر بالقول: "وُضع افتراض بأن التغيرات التطورية في الأنماط الجينية تترجم إلى تغيرات في النمط الظاهري من خلال مجموعة قوانين فوق جينية غير محددة، بعبارة أخرى، تم تجاهل التطور النمائي [من قبل الداروينية الجديدة] لكي تركز على دينامية تغيرات تكرار الأليلات في الجماعات" ("Neo-Darwinian Developmental Evolution, 502).

(11) Raff, The Shape of Life.

(12) Schwartz, "Homeobox Genes, Fossils, and the Origin of Species"; Schwartz, Sudden Origins; Goodwin, How the Leopard Changed Its Spots; Carroll, Endless Forms Most Beautiful

(١٣) بدأت تجارب التطفير على ذبابة الفاكهة (Drosophila melanogaster) بشكل جدي في جامعة Columbia، في مختبرات التنسيل لـ Thomas H. Morgan وآخرون، خلال العقد الأول من القرن العشرين.

(14) Meyer et al., Explore Evolution, 108

(15) Body Plans, http://ncse.com/book/export/html/2585 (accessed November 6, 2012)

(16) Normal Protein, http://ncse.com/book/export/html/2580 (accessed November 6, 2012)

(17) Body Plans, http://ncse.com/book/export/html/2585 (accessed November 6, 2012).

(18) Prud'homme, Gompel, and Carroll, "Emerging Principles of Regulatory Evolution".

(19) Prud'homme, Gompel, and Carroll, "Emerging Principles of Regulatory Evolution," 8605

(٢٠) ذكر Hoekstra و Coyne بوضوح أن الأمثلة الأفضل على طفرات CRE المحرضة المزعومة قد أظهرت "خسائر في الخصال بدلًا من نشوء خصال جديدة" ("The Locus of Evolution," 1006).

(21) Hoekstra and Coyne, "The Locus of Evolution," 996.

(22) Schwartz, Sudden Origins, 3.

(23) Schwartz, Sudden Origins, 13 .

طبقًا ل Schwartz "في المستوى الجيني، يمكن الوصول إلى أشكال ظاهرية جديدة تمامًا بطرفة عين. وكل الذي نحتاجه هو تفعيل جينات التماثل homeobox أو إطفاؤها (٣٦٢)".

(24) McGinnis and Kurziora, "The Molecular Architects of Body Design," 58.

(25) Lindsey and Grell, Guide to Genetic Variations of Drosophila melanogaster

(26) Lewis, "A Gene Complex Controlling Segmentation in Drosophila"; Peifer and Bender, "The Anterobithorax and Bithorax Mutations of the Bithorax Complex"; Fernandes et al., "MuscleDevelopment in the Four-Winged Drosophila and the Role of the Ultrabithorax Gene".

(27) Szathmáry, "When the Means Do Not Justify the End," 745

(28) Scott and Carroll, "The Segmentation and Homeotic Gene Network in Early Drosophila Development

(29) Davidson and Erwin, "An Integrated View of Precambrian Eumetazoan Evolution".

(30) Schwartz, Sudden Origins, 362.

(31) Szathmáry, "When the Means Do Not Justify the End," 745.

(32) Schwartz, Sudden Origins, 362.

(33) Szathmáry, "When the Means Do Not Justify the End," 745.

(34) Panganiban et al., "The Origin and Evolution of Animal Appendages".

(٣٥) بدلًا من ذلك، تحدد المعلومات والبنى فوق الجينية وظيفة العديد من جينات هوكس في الحقيقة. ويمكن لهذا أن يرى بشكل مهم عندما تنظم جينات

هوكس ذاتها (كما هو محدد بتناظر التسلسل النكليوتيدي) نماء خصائص تشريحية مختلفة بشكل ملفت (أي غير متناظرة بشكل تقليدي) وموجودة في شعب مختلفة. على سبيل المثال، في مفصليات الأرجل، جينات هوكس Distal-less ضرورية للنماء الطبيعي للأطراف، ولكن توجد جينات مناظرة في الفقاريات (مثل جينة Dlx في الفئران) تلعب أيضًا دورًا أساسيًا في نماء الأطراف -وإن كانت أطراف فقاريات (ذات الهيكل العظمي الداخلي)، وليس أطراف مفصليات أرجل (ذات الهيكل العظمي الخارجي). نلاحظ أيضاً تناظرًا في الجينة Distal-less في شعبة أخرى مثل شائكات الجلد، وهي تنظم نماء أنبوب التغذية والأشواك -وهي مجددًا خصائص تشريحية غير مناظرة تقليديًا لأطراف مفصليات الأرجل أو الفقاريات.

في كل حالة يكون دور جينات هوكس محكومًا من "الأعلى إلى الأسفل" أي من مستويات أعلى في سياق المتعضي الذي تحدث فيه. Panganiban et al., "The Origin and Evolution of Animal Appendages"".

(٣٦) بغض النظر عن كل هذا، فقد جادل بعض منظري البيولوجيا التطورية بأن ظهور جينات هوكس في الكائنات ما قبل الكامبرية قد يكون المسؤول عن قدح زناد الانفجار الكامبري، من خلال توفير بعض المواد الخام لتنوع المخططات الجسمية (Carroll, Patterns and Processes of Vertebrate Evolution). مع ذلك، وبالإضافة إلى تلك الصعوبات المذكورة، سلطت دراسات حديثة الضوء على معضلة أخرى تعتري مساهمة جينات هوكس في نشوء المخططات الجسمية. فقد ظهرت تلك الجينات في وقت سابق جدًا لظهور شعب متناظرات الجانبين المتنوعة، مما يقترح-بسبب الوقت الطويل لزمن التأخر- وجود شيء آخر لابد وأنه كان المسؤول عن الانفجار الكامبري. وكما تشرح لنا ورقة بحثية في مجلة Science "بأن التأخر الزمني بين البناء الأولي لهذه الشبكات

والظهور النهائي لأحافير متناظرات الجانبين يقترح بأن الحل لمعضلة الانفجار الكامبري لا يكمن خلف هذه القدرات الجينومية والنمائية فحسب، ولكن لا بد من وجوده في بيئة التشعع الكامبري نفسها"(Erwin et al., "The Cambrian Conundrum," 1095). See also de Rosa et al., "Hox Genes in Brachiopods and Priapulids and Protostome Evolution

(37) Lynch, "The Origins of Eukaryotic Gene Structure," 454

(38) Lynch, "The Origins of Eukaryotic Gene Structure," 450.

ذهب في الحقيقة أبعد من ذلك، مؤكدًا أن "باستطاعة الجنوح الجيني العشوائي فرض حاجز قوي في وجه تقدم التنقية الجزيئية بالعمليات التكيفية."

Lynch, "Evolutionary Layering and the Limits to Cellular Perfection".

(39) Jurica, "Detailed Closeups and the Big Picture of Spliceosomes," 315. See also Butcher, "The Spliceosome as Ribozyme Hypothesis Takes a Second Step," 12211–12; Nilsen,"The Spliceosome:The Most Complex Macromolecular Machine in the Cell?" 1147–49.

(٤٠) مقتبس من Azar, "Profile of Michael Lynch," 16015

(٤١) شرحت على موقفي المخصص لهذا الكتاب

www.darwinsdoubt.com، لماذا يمثل نشوء الخلايا حقيقة النواة تحديًا هائلًا لكل النظريات التطورية غير الموجهة.

(42) Lynch, "The Origins of Eukaryotic Gene Structure," 450–68 (emphasis added).

(٤٣) انظر أيضًا " The Frailty of Adaptive Hypotheses for the Origin of Organismal Complexity,"8597–604.

(٤٤) أوضحت Gauger أن Lynch "لا يقدم أي تفسير لقدرة القوى اللاتكيفية على إنتاج التعقيد الجينومي والمتعضي الذي نشاهده في الأنواع الحديثة".

Ann Gauger, "The Frailty of the Darwinian Hypothesis, Part 2.

كما لاحظ Jerry Coyne الأمر ذاته فقال: "ينتج كل من الجنوح والانتقاء الطبيعي تغيرًا جينيًا نسميه تطورًا. ولكن هناك اختلاف مهم. فالجنوح عملية عشوائية، بينما الانتقاء هو نقيض العشوائية ... فالجنوح الجيني كعملية عشوائية محضة عاجز عن التسبب بتطور التكيفات، وليس بإمكانه أبدًا بناء جناح أو عين. لأن هذا يتطلب انتقاء طبيعيًا غير عشوائي".

Coyne, Why Evolution Is True, 123.

(45) Lynch and Abegg, "The Rate of Establishment of Complex Adaptations," 1404.

(46) Lynch and Abegg, "The Rate of Establishment of Complex Adaptations," 1414.

(47) Axe, The Limits of Complex Adaptation: An Analysis Based on a Simple Model of Structured Bacterial Populations, 3.

(48) Axe, The Limits of Complex Adaptation: An Analysis Based on a Simple Model of Structured Bacterial Populations, 3.

(49) Darwin, On the Origin of Species, 134–38.

سميت نظرية داروين في الوراثة نظرية "شمولية التخلق pangenesis"، وقد افترضت هذه النظرية أن جمعًا من الجسيمات الوراثية الدقيقة (والتي سماها بريعمات gemmules) تتراكم في الأعضاء التناسلية للمتعضيات، حاملة المعلومات حول تاريخ حياة الأب وبيئته والظروف التي مر بها. ومن ثم ستنتقل تلك المعلومات عند التكاثر إلى الذرية، سامحة بتوريث الخصال المكتسبة.

(50) Darwin. The Illustrated Origin of Species (6th edition), 95.

كتب داروين يقول: أعتقد أنه لا مجال للشك بأن استخدام أجزاء محددة في الحيوانات المدجنة قد عززها وضخمها، وأن إهمالها يزيل بعضها، وتعديلات كتلك تكون موروثة".

(٥١) يوجد بعض الأسئلة حول المضبوطية التاريخية لتسمية الأفكار الناشئة في القرن الواحد والعشرين بـ "اللاماركية الجديدة" في ضوء المضمون الحقيقي لرؤية Jean-Baptiste de Lamarck بالمقارنة مع النمو المعرفي الهائل في الوارثة على مر القرنين الماضيين. ونظرًا لتبني Jablonka لمصطلح "اللاماركية" لموقفها الحالي، فقد تبعتها في تلك الممارسة، مع ما تنضوي عليه من محاذير حول الاختلاف في المضمون المذكور.

(52) Jablonka and Raz, "Transgenerational Epigenetic Inheritance," 168.

(53) Jablonka and Raz, "Transgenerational Epigenetic Inheritance," 138, emphasis added

(54) Jablonka and Raz, "Transgenerational Epigenetic Inheritance,"162

(55) Shapiro, Evolution, 2

(٥٦) أكد Shapiro أن إصرار الداروينية الجديدة على أساسية العشوائية يرجع لأسباب فلسفية وليست تجريبية (أو مشاهدة) لأن ذلك مرتبط بإقصاء "التدخل ما فوق الطبيعي" في نشوء الكائنات الحية.

(57) Shapiro, Evolution, 12.
(58) Shapiro, Evolution, 14.
(59) Shapiro, Evolution, 14.
(60) Shapiro, Evolution, 16.
(61) Shapiro, Evolution, 16.
(62) Shapiro, Evolution, 14.

(٦٣) وكما لاحظ البيولوجي Bénédicte Michel "فمن الواضح، أن من المهم للبكتيريا إبقاء كل مستويات استجابة SOS تحت المراقبة الشديدة. فليس هناك من فائدة للمتعضية باستخدام البولميراز المعرض للخطأ مدة أطول مما تقتضيه الضرورة تمامًا". ("After 30 Years, the Bacterial SOS Response Still Surprises Us," 1175).

(64) Shapiro, "Darwin’s Black Box: The Biochemical Challenge to Evolution-Book Reviews".



الفصل السابع عشر

(١) كما شرح دوكينز: "إن الانتقاء الطبيعي، العملية العمياء، الأتوماتيكية، غير الواعية، والتي اكتشفها داروين، والتي نعرفها اليوم كشرح لوجود كل أشكال الحياة التي تبدو مخلوقة لهدف ظاهرًا، لا تسعى لأي هدف. وليس لها عقل ولا بصيرة" (The Blind Watchmaker, 5).

(2) Mayr, Foreword, in Ruse, ed., Darwinism Defended, xi–xii.

(3) Ayala, "Darwin's Greatest Discovery," 8572

(٤) كما أشار دوكينز: "البيولوجيا دراسة الأشياء المعقدة التي توحي بامتلاكها بأنها مصممة لهدف" (The Blind Watchmaker, 1). ويشرح Crick بشكل مشابه: تبدو الكائنات الحية كما لو أنها مصممة لتقوم بأداء وظيفتها بشكل مذهل للغاية، ولذا يجد العقل البشري صعوبة في تقبل عدم الحاجة إلى مصمم يقوم بذلك"(What Mad Pursuit, 30). كما يلاحظ Lewontin أن الكائنات الحية "تبدو وكأنها صممت بعناية واتقان" ("Adaptation").

(5) Dawkins, River Out of Eden, 17.

(6) Dawkins, The Blind Watchmaker, 1.

(7) Gillespie, Charles Darwin and the Problem of Creation, 83–108.

(8) Thaxton, Bradley, and Olsen, The Mystery of Life's Origin, 211.

(٩) لدينا دليل مشاهد في الوقت الحالي على أن المحققين الأذكياء قادرون (وقد فعلوا) على بناء وسيلة لاستقاء الطاقة من السبل الكيميائية غير العشوائية وعمل اصطناع كيميائي معقد، يصل لبناء الجينات. فهل يمكن بعد ذلك ألا نستخدم مبدأ

الانتظام في إطاره الاعتباري العريض لنقترح أن DNA قد نتج عن سبب ذكي في بادئ الأمر؟ (Thaxton, Bradley, and Olsen, The Mystery of Life's Origin, 211).

(10) Peirce, Collected Papers, 2:372–88; Meyer, "Of Clues and Causes," 25. See also Whewell, "Lyell's Principles of Geology"; The Philosophy of the Inductive Sciences.

(11) Peirce, Collected Papers, 2:372–88. See also Fann, Peirce's Theory of Abduction, 28–34;Whewell, "Lyell's Principles of Geology"; The Philosophy of the Inductive Sciences.

(12) Gould, "Evolution and the Triumph of Homology," 61. See also Whewell, "Lyell's Principles of Geology"; The Philosophy of the Inductive Sciences

(13) Peirce, "Abduction and Induction," 150–54.

(14) Chamberlain, "The Method of Multiple Working Hypotheses".

(15) Conniff, "When Continental Drift Was Considered Pseudoscience".

(16) Conniff, "When Continental Drift Was Considered Pseudoscience".

(17) Oreskes, "From Continental Drift to Plate Tectonics," 12.

(18) Heirtzler, "Sea-Floor Spreading"; Hurley, "The Confirmation of Continental Drift"; Vine, "Reversals of Fortune".

(١٩) على سبيل المثال، يذكر Xavier Le Pichon "أجبرتني البيانات المغناطيسية بشكل متزايد على الاقتناع" (" My Conversion to Plate Tectonics," 212).

(20) Lipton, Inference to the Best Explanation, 1

(21) Lipton, Inference to the Best Explanation, 1.

(22) Lyell, Principles of Geology, 75–91.

(23) Kavalovski, "The Vera Causa Principle," 78–103

(24) Scriven, "Explanation and Prediction in Evolutionary Theory," 480; Gallie, "Explanations in History and the Genetic Sciences"; Sober, Reconstructing the Past, 1–5.

(25) Meyer, "Of Clues and Causes," 96–108.

الفصل الثامن عشر

(1) Davidson, "Evolutionary Bioscience as Regulatory Systems Biology," 35.

(2) Erwin and Davidson, "The Evolution of Hierarchical Gene Regulatory Networks," 141.

(3) Davidson, "Evolutionary Bioscience as Regulatory Systems Biology," 6.

(4) Erwin, "Early Introduction of Major Morphological Innovations," 288.

(5) Erwin, "Early Introduction of Major Morphological Innovations," 288, emphasis added.

(٦) كما يقول إيروين: "هناك دلالة واضحة على أن مجال الابتكار الشكلي ممكن في العصر الكامبري وهو غير ممكن في وقتنا الحالي".

The Origin of Body Plans," 626, emphasis added.

(7) Conway Morris, Life's Solution: Inevitable Humans in a Lonely Universe, 327; see also "Evolution: Bringing Molecules into the Fold"; "The Cambrian Explosion of Metazoans."

(8) Conway Morris, Life's Solution, 327. See also Conway Morris, "Bringing Molecules into the Fold," 8.

(9) Shapiro, Evolution.

(10) Dawkins, River Out of Eden, 17.

(11) Hood and Galas, "The Digital Code of DNA".

(12) Gates, The Road Ahead, 188.

(13) Quastler, The Emergence of Biological Organization, 16.

(١٤) إن عبارة "كميات كبيرة من المعلومات المحددة" بالطبع مراوغة هروب من سؤال كمي، هو "كم من المعلومات المحددة التي تلزم أقل خلية معقدة بما يعفيها من الحاجة لمصمم؟" أعطيت في كتاب Signature in the Cell جوابًا كميًا دقيقًا ومبررًا لهذا السؤال. وبينت أن ابتكار ٥٠٠ بت أو أكثر من المعلومات المحددة يقتضي التصميم بقدر يمكن الاعتماد عليه. Meyer, Signature in the Cell, 294.

(15) Dawkins, The Blind Watchmaker, 47–49; Küppers, "On the Prior Probability of the Existence of Life"; Scheider, "The Evolution of Biological Information"; Lenski, "The Evolutionary Origin of Complex Features."

ولنقد هذه الخوارزميات والادعاءات الوراثية التي يحاكون بها قدرة الانتقاء الطبيعي والطفرات العشوائية على توليد المعلومات الجينية الجديدة بعيدًا عن فعل مصمم ذكي انظر Meyer, Signature in the Cell, 281–95.

(16) Berlinski, "On Assessing Genetic Algorithms".

(17) Rodin, Szathmary, and Rodin, "On the Origin of the Genetic Code and tRNA Before Translation," 2.

(18) Denton, Evolution: A Theory in Crisis, 309–11.

(19) Polanyi, "Life Transcending Physics and Chemistry"; "Life's Irreducible Structure".

(20) Oliveri and Davidson, "Built to Run, Not Fail."

يذكر ديفيدسون أن كل أجنة الحيوانات يجب أن "تفعّل الجينات التنظيمية المناسبة في المكان المناسب. ويجب أن تكون هذه الجينات متشابكة ديناميكيًا أيضًا؛ يجب أن تعتمد الحالة التنظيمية للخلايا في منطقة مكانية ما على التواصل فيما بينها، ويجب أن يكون التعبير عن هذه الجينات التنظيمية نفسها ممنوعًا بشكل

خاص في أي مكان آخر؛ وفوق كل ذلك، يجب استبعاد حالات بديلة معينة. هذه المكونات متصلة فيما بينها بشكل أكيد ... ففي جنين قنفذ البحر -حيث يوجد كل ما ذكرناه آنفا- يؤدي إبطال أي من هذه الدارات لشذوذ في التعبير الجيني" (٥١١)

(21) Davidson, Genomic Regulatory Systems, 54.

(٢٢) التماثل (التناظر-هومولوجي) يحدده انحفاظ تسلسل النكليوتيدات ضمن إطار قراءتها.

(23) Newman, "The Developmental Genetic Toolkit and the Molecular Homology-Analogy Paradox," 12.

(٢٤) حاولت عدة طروحات ضمن نظرية التطور أن تحل التناقض، وربما يكون أكثرها شيوعًا هو ما يعدل مفهوم الداروينية الجديدة عن "التناظر" عن طريق إلحاق كلمة "عميق" به، وهي السترة اللفظية التي (إن كان المرء ميالًا للسخرية) تستدرّ تعليقات ساخرة تناسب العرض الكوميدي الليلي المتأخر. وعلى وجه التدقيق، علينا أن نتذكر أن توقع الداروينية الجديدة عن الجينات، والأنماط الظاهرية، والتناظر، خطأ. ولم يتحول أبدًا شيء خطأ إلى شيء صحيح بإلحاق كلمة "عميق" به.

(25) Carroll, Endless Forms Most Beautiful, 72.

(26) Gould, The Structure of Evolutionary Theory, 1065.

يلاحظ ستيوارت نيومان: "إنها لمفاجأة كبيرة للعاملين في مجالات علم البيولوجيا التطورية والنمائية ... أن جينة (ey) في ذبابة الفاكهة عديمة العيون تشبه كثيرًا DNA الفأر والبشر عند جينات Pax-6، لأن النظرية التطورية تقليديًا آمنت بأن العصور الطويلة جدًا من الزمن مطلوبة للانتقاء الطبيعي لتوليد تباينات شديدة في التنظيم المورفولوجي". لكنه يذكر أن الانتقاء الطبيعي والطفرات عبر تلك العصور

الطويلة إن أنتجا تغيرات مورفولوجية شاملة فيجب أن يكونا قد أنتجا تغيرات شاملة في الجينات أيضًا:

("The Developmental Genetic Toolkit and the Molecular Homology-Analogy Paradox," 12).

(27) Nelson and Wells, "Homology in Biology," 316.

(28) Nelson and Wells, "Homology in Biology," 316.

(29) Erwin, "Disparity ".

يلاحظ إيروين أن "توزع الأشكال العضوية على أي مقياس متكتل على بعضه، سواء في الجماعات أو في أعلى الفئات التصنيفية، وسواء اعتبرناه ضمن الكلاد clades أو ضمن النظم البيئية. يوفر سجل الأحافير القليل من الدعم للتوقعات التي تقول بأن الفجوات المورفولوجية بين الأنواع أو مجموعات الأنواع قد زادت عبر الزمن، كما لو أن الفجوات وُجدت من خلال انقراض مورفولوجيات أكثر تجانسًا فيما بينها. وبتقدير كمي للمورفولوجيا –والذي حل محل عد الفئات التصنيفية كمقياس للتفاوت المورفولوجي– أثبتت العديد من الدراسات النشوء السريع للفضاء المورفولوجي في المراحل الباكرة من التشعع التطوري." (٥٧).

(30) Dembski, "Intelligent Design as a Theory of Technological Evolution"; Savransky, Engineering of Creativity, 8, 24; Bracht, "Inventions, Algorithms, and Biological Design ".

(31) Valentine, "Why No New Phyla After the Cambrian?"; see also Bergstrom, "Ideas on Early Animal Evolution." Bergstrom comments :

(٣٢) "ليس هناك أي علامة إطلاقًا على التقارب بين الشعب عندما نتتبعها رجوعًا إلى بدايات العصر الكامبري، فقد كانت على ما يبدو منفصلة منذ البداية كما هي

اليوم، كما أن المستويات التراتبية تنطوي على الأمر الواقع في البيولوجيا، وليست فقط من أعراف أهل التصنيف. وفي الواقع، فإن العائق التصنيفي الأكبر هو في تميز العلاقات بين الشعب، وليس في التميز بينها". (٤٦٤)

(33) Denton, Evolution, 313.
(34) Agassiz, "Evolution and the Permanence of Type," 101.



الفصل التاسع عشر

(1) Chesterton, "The Invisible Man".

(2) Murphy, "Phillip Johnson on Trial," 33.

ونانسي مورفي هي فيلسوفة وأستاذة في اللاهوت، وهي تؤكد بقوة على المذهب الطبيعي الطرائقي في المنطق. وإليك نص كلامها كاملًا: "يبحث العلم –بوصفه علمًا– عن التفسيرات الطبيعية لكل العمليات الطبيعية. وعلى المسيحيين والملحدين، على حد سواء، مواصلة البحث العلمي في عصرنا دون اللجوء لفكرة الخالق ... وكل من يحاول عزو خواص الأشياء الحية لذكاء الخالق فقد انتقل عمله –وفق التعريف– إلى ساحات الأديان أو ما وراء الطبيعة".

انظر أيضًا: Willey, "Darwin's Place in the History of Thought," 15 ("يجب أن يكون العلم بلا دين، أو لن يبقى اسمه علمًا")؛ Grizzle, "Some Comments 'on the Godless' Nature of Darwinian Evolution," 176.

(3) Meyer, "The Origin of Biological Information and the Higher Taxonomic Categories".

(٤) من أجل مناقشات مفصلة عن حقائق قضية ستيرنبرغ انظر:

"Smithsonian Controversy" www.richardsternberg.com/smithsonian.php; U.S. Office of Special Counsel Letter (2005) at www.discovery.org/f/1488; United States House of Representatives Committee on Government Reform, Subcommittee Staff Report, "Intolerance and the Politicization of Science at the Smithsonian" (December 2006), at www.discovery.org/f/1489; Appendix, United States House of Representatives Committee on

Government Reform, Subcommittee Staff Report (December, 2006) at www.discovery.org/f/1490.
(5) See "Statement from the Council of the Biological Society of Washington," originally at http://www.biolsocwash.org/id_statement.html; now at http://ncse.com/news/2004/10/bswstrengthens-statement-repudiating-meyer-paper–00528 or http://web.archive.org/web/20070926214521/http://www.biolsocwash.org/id_statement.html

(٦) إيميل من روي دكديارميد Roy McDiarmid إلى هانز سيس Hans Sues، "رد: طلب معلومات" (٢٨ يناير ٢٠٠٥ الساعة ٢:٢٥ مساءًا)، وثقت في (بيت الولايات المتحدة للجنة ممثلي الإصلاح الحكومي United States House of Representatives Committee on Government Reform)، ومتاح على الرابط http://www.discovery.org/f/1489

"اطلعت على ملف المراجعة وتعليقات ثلاثة مراجعين لورقة ماير، وقد أوصى الثلاثة كلهم –مع بعض الفروق فيما بينهم– أو اقترحوا النشر. وقد فوجئت، لكنني استنتجت عدم وجود سلوك غير ملائم يواجه قوة [كذا] عملية المراجعة".

(7) Klinghoffer, "The Branding of a Heretic".
(8) See "Statement from the Council of the Biological Society of Washington," originally at http://www.biolsocwash.org/id_statement.html; now at http://ncse.com/news/2004/10/bswstrengthens-statement-repudiating-meyer-paper–00528 or http://web.archive.org/web/20070926214521/http://www.biolsocwash.org/id_statement.html.
(9) "AAAS Board Resolution on Intelligent Design Theory," AAAS News Archives, October 18, 2002, at http://www.aaas.org/news/releases/2002/1106id2.shtml.

(10) Siegal, "Riled by Intelligent Design"; World Net Daily, "Intelligent Design Torpedoes Tenure"; Brumfiel, "Darwin Sceptic Says Views Cost Tenure"; Dillon, "Regents Deny Gonzalez's Tenure Appeal"; Meyer, "A Scopes Trial for the '90s"; West, Darwin Day in America, 234–38; "Background to the Guillermo Gonzalez Story," at http://www.evolutionnews.org/ggbckgrndr.final.pdf; "Intelligent Design Was the Issue After All(Updated)," at http://www.evolutionnews.org/ID_was_the_Issue_Gonzalez_Tenure.pdf; LeVake v. Independent School District, 625 N.W.2d 502, 506 (Minn. Ct. App. 2001), cert. denied, 534 U.S. 1081 (2002); Mims, "The Scientific American Affair"; Crocker, Free to Think; Vedantam, "Eden and Evolution"; Luskin, "Darwin's Dilemma"; Anderson, "Cancellation of Darwin Film Creates Uproar"; Reardon, "California Science Center to Pay $110,000 Settlement Over Intelligent Design Film"; Boehm, "California Science Center Is Sued for Canceling a Film Promoting Intelligent Design"; Crowther, "Academic Freedom Expelled from Baylor University"; Briggs and Maaluf, "BU Had Role in Dembski Return"; Luskin, "Credibility Gap"; Black, "Intelligent Design Proponent Fired from NASA Lab"; Pitts, "Design Flaw?"; Associated Press, "Former NASA Specialist Claims He Was Fired over Intelligent Design"; Associated Press, "JPL Worker Sues over Intelligent Design Demotion";Gallegos, "Intelligent Design Proponent Who Works at JPL Says He Experienced Religious Discrimination"; Luskin, "Intelligent Design Demoted."
(11) Crick, What Mad Pursuit, 138
(12) Lewontin, "Billions and Billions of Demons," 28

(١٣) بدأ دور الفلسفة المادية الطرائقية الداعم لنظرية داروين زورًا مع داروين نفسه، وتبعًا للمؤرخ العلمي Neal Gillespie: "يقتضي التشكك المشوَّش حول الانتقاء الطبيعي من معاصري داروين، والرفض واسع الانتشار له من ثمانينات القرن التاسع عشر وحتى ثلاثينات القرن العشرين، أن ... ما نال إعجابهم حقيقة هو إصرار داروين على التفاسير الطبيعية بالكلية، أكثر من إعجابهم بفكرة الانتقاء الطبيعي ... فالتغيير الأولي لم يكن في نظرية الانتواع، ولكنه كان في المعتقدات حول طبيعة العلم"، وباختصار، استبعد تعريف داروين الجديد للعلم كلا الأمرين: "التصميم المباشر وغير المباشر" في الكائنات الحية، وبذلك حمى نظريته من المنافسة

(Charles Darwin and the Problem of Creation, 123, 147, 152).

(14) Laudan, "The Demise of the Demarcation Problem"; Meyer, "The Demarcation of Science and Religion".

(15) Newton, Newton's Principia, 543–44; Alexander, The Leibniz-Clarke Correspondence, 92; Hutchison, "What Happened to Occult Qualities in the Scientific Revolution?"; Leibniz, New Essays on Human Understanding, 61, 65–67.

(١٦) كما كتب نيوتن في رسالته المشهورة إلى الأسقف بينتلي "أنا لا أدعي أنني أعرف سبب الجاذبية" (Cohen, Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy, 302).

(١٧) يقول لاودين: "ليس هناك حد فاصل يحوز موافقة أكثرية الفلاسفة بين العلم واللاعلم، أو بين العلم الحقيقي والعلم المزيف". (Beyond Positivism and Relativism, 210).

(18) Laudan, "The Demise of the Demarcation Problem" Newton, Newton's Principia, 543–44; Alexander, The Leibniz-Clarke Correspondence, 92; Hutchison, "What Happened to Occult Qualities in the Scientific Revolution?"; Leibniz, New Essays on Human Understanding, 61, 65–67.

(19) Hutchison, "What Happened to Occult Qualities in the Scientific Revolution?" Leibniz, New Essays on Human Understanding, 61, 65–67.

(20) Laudan, "The Demise of the Demarcation Problem"; Eger, "A Tale of Two Controversies".

(21) Gould, "Creationism"; Ruse, "Witness Testimony Sheet"; Ebert et al., Science and Creationism, 8–10.

(22) Kline, "Theories, Facts and Gods," 42; Gould, "Evolution as Fact and Theory," 120; Root-Bernstein, "On Defining a Scientific Theory," 72.

(23) Root-Bernstein, "On Defining a Scientific Theory," 73; Ruse, "A Philosopher's Day in Court,"28; Ebert et al., Science and Creationism, 8–10.

(24) Ruse, "Witness Testimony Sheet," 301; "A Philosopher's Day in Court," 26; "Darwinism:Philosophical Preference, Scientific Inference, and a Good Research Strategy," 1–6.

(25) Ruse, Darwinism Defended, 59; "Witness Testimony Sheet," 305; Gould, "Evolution as Factand Theory," 121; Root-Bernstein, "On Defining a Scientific Theory," 74.

(26) Kehoe, "Modern Anti-Evolutionism"; Ruse, "Witness Testimony Sheet," 305; "A Philosopher's Day in Court," 28; Ebert et al., Science and Creationism, 8.

(27) Kitcher, (Abusing Science, 126–27, 176–77).

(28) Skoog, "A View from the Past"; Root-Bernstein, "On Defining a Scientific Theory," 74; Scott,"Keep Science Free from Creationism," 30.

(29) Lyell, Principles of Geology.

(30) Meyer, Signature in the Cell, 481–97

(31) See Meyer, Signature in the Cell, 416–38; see also Meyer, "The Scientific Status of Intelligent Design: The Methodological Equivalence of Naturalistic and Non-Naturalistic Origins Theories," 151–212; Meyer, "The Nature of Historical Science and the Demarcation of Design and Descent" 91–130; Meyer, "Laws, Causes and Facts: A Response to Professor Ruse," 29–40; Meyer, "Sauce for the Goose: Intelligent Design, Scientific Methodology, and the Demarcation Problem," 95–131; Meyer, "The Methodological Equivalence of Design and Descent," 67–112.

(32) See Meyer, Signature in the Cell, 441–42.

(33) Meyer, Signature in the Cell, 373–95.

(34) Asher, Evolution and Belief, 32.

(35) Asher, Evolution and Belief, 32.

(36) Asher, Evolution and Belief, 32.

(37) Asher, Evolution and Belief, 32.

(٣٨) **لاحظ كل من Oddly و Asher أن ماير بالعموم "لا يكنّ الإجلال للفلسفة الطبيعية، ولكنه يكن كل الإجلال لمبدأ انتظام الكون uniformitarianism": (Evolution and Belief, 32). فإذا كان يعني بمصطلح الفلسفة الطبيعية اعتبار مذهب الطبيعية الطرائقية على أنه معيار لكل البحث العلمي، فإن توصيفه لوجهة نظري تشخيص دقيق فيما يتعلق بهذا المجال.**

(39) Asher, Evolution and Belief, 32.

(40) Ecker et al., "Genomics".

(41) Ecker et al., "Genomics," 52.

(42) Orgel and Crick, "Selfish DNA".

(43) Dembski, "Science and Design," 26.

(44) The ENCODE Project Consortium, "An Integrated Encyclopedia of DNA Elements in the Human Genome," 57.

(45) Shapiro and Von Sternberg, "Why Repetitive DNA is Essential to Genome Function";VonSternberg and Shapiro, "How Repeated Retroelements Format Genome Function"; Han, Szak, and Boeke, "Transcriptional Disruption by the L1 Retrotransposon";Janowski et al., "Inhibiting Gene Expression at Transcription Start Sites in Chromosomal DNA with Antigene RNAs";Goodrich and Kugel, "Non-coding-RNA Regulators of RNA Polymerase II Transcription";Li et al., "Small dsRNAs Induce Transcriptional Activation in Human Cells";Pagano et al., "New Small Nuclear RNA Gene-like Transcriptional Units"; Van de Lagemaat et al., "Transposable Elements in Mammals"; Donnelly, Hawkins, and Moss, "A Conserved Nuclear Element"; Dunn, Medstrand, and Mager, "An Endogenous Retroviral Long Terminal Repeat"; Burgess-Beusse et al., "The Insulation of Genes from External Enhancers and Silencing Chromatin"; Medstrand, Landry, and Mager, "Long Terminal Repeats Are Used as Alternative Promoters"; Mariño-Ramírez et al., "Transposable Elements Donate Lineage-Specific Regulatory Sequences to Host Genomes"; Green, "The Role of Translocation and Selection"; Figueiredo et al., "A Central Role for Plasmodium Falciparum Subtelomeric Regions"; Henikoff, Ahmad, and Malik, "The

Centromere Paradox"; Bell, West, and Felsenfeld, "Insulators and Boundaries"; Pardue and Debaryshe, "Drosophila Telomeres"; Henikoff, "Heterochromatin Function in Complex Genomes"; Schueler et al., "Genomic and Genetic Definition of a Functional Human Centromere"; Jordan et al., "Origin of a Substantial Fraction of Human Regulatory Sequences from Transposable Elements"; Chen, DeCerbo, and Carmichael, "Alu Element-Mediated Gene Silencing"; Jurka, "Evolutionary Impact of Human Alu Repetitive Elements"; Lev-Maor et al., "The Birth of an Alternatively Spliced Exon"; Kondo-Iida et al., "Novel Mutations and Genotype–Phenotype Relationships in 107 Families"; Mattick and Makunin, "Noncoding RNA"; McKenzie and Brennan, "The Two Small Introns of the Drosophila affinidisjuncta Adh Gene"; Arnaud et al., "SINE Retroposons Can Be Used In Vivo"; Rubin, Kimura, and Schmid, "Selective Stimulation of Translational Expression by Alu RNA"; Bartel, "MicroRNAs"; Mattick and Makunin, "Small Regulatory RNAs in Mammals"; Dunlap et al., "Endogenous Retroviruses Regulate Periimplantation Placental Growth and Differentiation"; Hyslop et al., "Downregulation of NANOG Induces Differentiation"; Peaston et al., "Retrotransposons Regulate Host Genes in Mouse Oocytesand Preimplantation Embryos"; Morrish et al., "DNA Repair Mediated by Endonuclease-Independent LINE–1 Retrotransposition"; Tremblay, Jasin, and Chartrand, "A Double-Strand Break in a Chromosomal LINE Element Can Be Repaired"; Grawunder et al., "Activity of DNA Ligase IV Stimulated by Complex Formation with XRCC4 Protein in Mammalian Cells"; Wilson, Grawunder, and Liebe, "Yeast DNA Ligase IV Mediates Non-Homologous DNA End Joining"; Mura et al., "Late Viral Interference Induced by Transdominant Gag of an Endogenous

Retrovirus"; Goh et al., "A Newly Discovered Human Alpha-Globin Gene"; Kandouz et al., "Connexin43 Pseudogene Is Expressed"; Tam et al., "Pseudogene- Derived Small Interfering RNAs Regulate Gene Expression in Mouse Oocytes"; Watanabe et al., "Endogenous siRNAs from Naturally Formed dsRNAs Regulate Transcripts in Mouse Oocytes"; Piehler et al., "The Human ABC Transporter Pseudogene Family"; Mattick and Gagen, "The Evolution of Controlled Multitasked Gene Networks"; Pandey and Mukerji, "From ‘JUNK’ to Just Unexplored Noncoding Knowledge"; Balakirev and Ayala, "Pseudogenes"; Pink et al., "Pseudogenes"; Wen et al., "Pseudogenes Are Not Pseudo Any More"; Franco-Zorrilla et al., "Target Mimicry Provides a New Mechanism for Regulation of MicroRNA Activity"; Colas et al., "Whole-Genome MicroRNA Screening Identifies let-7 and miR-18 as Regulators"; Carrier et al., "Long Non-Coding Antisense RNA Controls Uchl1 Translation"; Kelley and Rinn, "Transposable Elements Reveal a Stem Cell Specific Class of Long Noncoding RNAs"; Wang et al., "Alternative Isoform Regulation in Human Tissue Transcriptomes"; Louro et al., "Conserved Tissue Expression Signatures of Intronic Noncoding RNAs"; Hoeppner et al., "Evolutionarily Stable Association of Intronic SnoRNAs and MicroRNAs with Their Host Genes"; Monteys et al., "Structure and Activity of Putative Intronic miRNA Promoters"; Mondal et al., "Characterization of the RNA Content of Chromatin"; Rodriguez-Campos and Azorin, "RNA Is an Integral Component of Chromatin That Contributes to Its Structural Organization"; George et al., "Evolution of Diverse Mechanisms for Protecting Chromosome Ends"; Von Sternberg, "On the Roles of

Repetitive DNA Elements in the Context of a Unified Genomic-Epigenetic System".

(46) "Breakthrough of the Year Newsfocus: Genomics Beyond Genes," Science 338 (December 21, 2012): 1528.

(47) Moran, "Intelligent Design Creationists Chose ENCODE as the #1 Evolution Story of 2012".

(48) Shapiro and von Sternberg, "Why Repetitive DNA Is Essential to Genome Function"; Von Sternberg and Shapiro, "How Repeated Retroelements Format Genome Function." See also Von Sternberg, "On the Roles of Repetitive DNA Elements in the Context of a Unified Genomic Epigenetic System."

(49) Todd, "A View from Kansas on That Evolution Debate."

الفصل العشرون

(1) Dawkins, The God Delusion; Hitchens, God Is Not Great; Stenger, God: The Failed Hypothesis.
(2) Stenger, God: The Failed Hypothesis.
(3) Dawkins, The Blind Watchmaker, 6.
(4) Russell, quoted in Conant, Modern Science and Modern Man, 139–40.
(5) Collins, The Language of God. See also Giberson, Saving Darwin; Miller, Finding Darwin’s God.

(٦) لتعرف أشهر الانتقادات الموجهة للإجماع الدارويني الجديد انظر الفصل الرابع عشر، الصفحة ٤٢.

(٧) من أجل بعض الدراسات الحديثة انظر الفصل ١٩ الصفحة ٤٥.

(٨) كما قال Alfred North Whitehead: "عندما نتأمل في مكانة الدين للبشر، ومكانة العلم لهم كذلك، فإنا لا نبالغ حين نقول إن المسار المستقبلي للتاريخ يعتمد على قرار هذا الجيل حول العلاقة بينهما" (Science and the Modern World, 260).

أذونات وتصاريح نشر
الأشكال الواردة في الكتاب

The inclusion of any figures, illustrations, photographs, diagrams, charts, or other types of images in this book should not be construed as an endorsement of the ideas and arguments contained in this book on the part of any copyright holders or creators of those images, other than the author of the book himself.

Illustrations © 2013 Ray Braun, Seattle, WA.

Cover photograph: Courtesy Chen, J. Y., G. Q. Zhou, M. Y. Zhu, and K. Y. Yeh. The Chengjiang Biota —A Unique Window of the Cambrian Explosion. Taichung, Taiwan: National Museum of Natural Science (1996), 149, Figure 186. Used by permission.

Cover: Photograph of trilobite fossil courtesy of J. Y. Chen. Source: Figure 186, Chen, J. Y., Zhou, G. Q., Zhu, M. Y., and Yeh, K. Y. The Chengjiang Biota—A Unique Window of the Cambrian Explosion, 149. Taichung, Taiwan: National Museum of Natural Science, 1996. Used with permission.

Figure 1.1: Tree of life image from Ernst Haeckel, Volume II of Generelle Morphologie (1866). Public Domain.

Figure 1.2a: Louis Agassiz photograph courtesy of Wikimedia Commons. Public Domain.

Figure 1.2b: Charles Darwin photograph courtesy of Wikimedia Commons. Original photograph taken by Henry Maull and John Fox. Public Domain.

Figure 1.3a: Drawing of brachiopod by Ray Braun based on information from Figure 18, Brusca, R. C., and Brusca, G. J. Invertebrates, 794. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 1990; Figure 7.55, Mintz, L. W. Historical Geology: The Science of a Dynamic Earth, 130. 2nd ed. Columbus, Charles E. Merrill Publishing, 1977.

Figure 1.3b: Brachiopod fossil photograph showing internal remains courtesy of Paul Chien. Used with permission.

Figure 1.3c: Brachiopod fossil photograph © Colin Keates / DK Limited / Corbis. Used with permission.

Figure 1.4a: Drawing of trilobite by Ray Braun based on information from “Fossil Groups,” University of Bristol, http://palaeo.gly.bris.ac.uk/palaeofiles/fossilgroups/trilobites/page2.htm.

Figure 1.4b: Trilobite fossil photograph courtesy of Illustra Media. Used with permission.

Figure 1.5: Drawing of tetracoral by Ray Braun based on information from “Convergence,” http://www.znam.bg/com/action/showArticle;jsessionid=FA17A83CDA0EC25151F6B80869F07E49 encID=790&article=2059773460.

Figure 1.6: Drawing of geological timescale by Ray Braun based on information from Mintz, L. W. Historical Geology: The Science of a Dynamic Earth, back page. 2nd ed. Columbus, Charles E. Merrill Publishing, 1977; Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D., Ogg, G. M. The Geological Timescale 2012 Volumes 1 and 2. Elsevier, 2012.

Figure 1.7: Drawing by Sir Thomas Dick-Lauder and published in Tyndall, J., "The Parallel Roads of Glen Roy." In Fragments of Science: A Series of Detached Essays, Addresses, and Reviews, Volume l. New York: D. Appleton and Company, 1915. Courtesy of Wikimedia Commons. Public Domain.

Figure 1.8: Drawing by Ray Braun based on information from a fossil exhibit that was on display at the California Academy of Sciences in the 1990s.

Figure 2.1: Photograph of the Burgess Shale © Thomas Kitchin & Victoria Hurst/All Canada Photos/Corbis. Used with permission.

Figure 2.2: Photograph of Charles Doolittle Walcott courtesy of Smithsonian Institution Archives. Image #84–16281. Used with permission.

Figure 2.3a: Drawing of Marrella by Ray Braun based on information from Figure 3.12, Gould, S. J. Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History, 114. New York: Norton, 1990.

Figure 2.3b: Photograph of Marrella fossil © User: Smith609 (Own Work) / Wikimedia Commons / CC-BY-SA–3.0. Used with permission; usage not intended to imply endorsement by the author/licensor of the work.

Figure 2.4a: Drawing of Hallucigenia by Ray Braun based on information from Figure 14.6, Xian-guang, H., Aldridge, R. J., Bergström, J., Siveter, D. J., Siveter, D. J., and Xiang-hong, F. The Cambrian Fossils of Chengjiang, China: The Flowering of Early Animal Life, 88 Oxford: Blackwell Publishing, 2004; Figure 19(b), Conway Morris, S., The Crucible of Creation: The Burgess Shale and the Rise of Animals, 55. Oxford: Oxford University Press, 2000.

Figure 2.4b: Photograph of Hallucigenia fossil courtesy of Smithsonian Institution. Used with permission.

Figures 2.5a, 2.5b, and 2.5c: Chart drawn by Ray Braun based on data compiled from references in Chapter 2, Endnote 5.

Figure 2.6: Diagram drawn by Ray Braun based on information from Figure 1, Meyer, S. C., Ross, M., Nelson, P. and Chien, P. "The Cambrian Explosion: Biology's Big Bang." In Darwinism, Design and Public Education, edited by John Angus Campbell and Stephen C. Meyer, 325. East Lansing, MI: Michigan State University Press, 2003. Courtesy of Brian Gage.

Figure 2.7: Diagram drawn by Ray Braun based on original drawing by Art Battson. Courtesy of Art Battson.

Figure 2.8: Diagram drawn by Ray Braun based on Figure 1, Wiester, J., and Dehaan, R. F., "The Cambrian Explosion: The Fossil Record and Intelligent Design." In Signs of Intelligence: Understanding Intelligent Design, 149. William A. Dembski and James M. Kushiner, eds. Grand Rapids, MI: Brazos Press, 2001. Courtesy also of Art Battson.

Figure 2.9a: Drawing of Opabinia by Ray Braun based on information from Figure 3.21, Gould, S. J. Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History, 126. New York: Norton, 1990; Figure 173, Briggs, D., Erwin, D., and Collier, F. The Fossils of the Burgess Shale, 210. Washington: Smithsonian Institution Press, 1994.

Figure 2.9b: Photograph of Opabinia fossil from Walcott, C. D., "Middle Cambrian Branchiopoda,

Malacostraca, Trilobita, and Merostomata." Smithsonian Miscellaneous Collections, Volume 57, Number 6 (Publication 2051), City of Washington, Published by the Smithsonian Institution, March 13, 1912. Public Domain.

Figure 2.10a: Drawing of Anomalocaris by Ray Braun based on information from Figure 264, Chen, J. Y., Zhou, G. Q., Zhu, M. Y., and Yeh, K. Y. The Chengjiang Biota—A Unique Window of the Cambrian Explosion, 197. Taichung, Taiwan: National Museum of Natural Science, 1996.

Figure 2.10b: Photograph of Anomalocaris fossil courtesy of J. Y. Chen. Source: Figure 265A, Chen, J. Y., Zhou, G. Q., Zhu, M. Y., and Yeh, K. Y. The Chengjiang Biota—A Unique Window of the Cambrian Explosion, 198. Taichung, Taiwan: National Museum of Natural Science, 1996. Used with permission.

Figure 2.11a: Tree of life diagram from Charles Darwin, Origin of Species, 1859. Courtesy of Wikimedia Commons. Public domain.

Figure 2.11b: Diagram drawn by Ray Braun.

Figure 2.12: Diagram drawn by Ray Braun.

Figure 3.1: Photograph of J. Y. Chen from Icons of Evolution Documentary, Coldwater Media, 2002. Copyright © Discovery Institute 2013. Courtesy of Discovery Institute. Used with permission.

Figure 3.2a: Photograph from Chengjiang fossil site courtesy of Illustra Media. Used With Permission.

Figure 3.2b: Photograph from Chengjiang fossil site courtesy of Paul Chien. Used With Permission.

Figure 3.2c: Photograph from Chengjiang fossil site courtesy of Paul Chien. Used With Permission.

Figure 3.3: Photograph of Harry Whittington from the Archives of the Museum of Comparative Zoology, Ernst Mayr Library, Harvard University. Used with permission.

Figure 3.4a: Drawing of Nectocaris by Ray Braun based on information from Smith, M. R., and Caron, J.-B., "Primitive soft-bodied cephalopods from the Cambrian," Nature, 465 (May 27, 2010): 469–472; Nectocaris pteryx at http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nectocaris_pteryx.JPG, courtesy of user: Stanton F. Fink at en.wikipedia / Wikimedia Commons / CC BY-SA 2.5.

Figure 3.4b: Photograph of Nectocaris fossil reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: Nature, Figure 1, Smith, M. R., and Caron, J.-B., "Primitive soft-bodied cephalopods from the Cambrian," Nature, 465 (May 27, 2010): 469–472. Copyright 2010. Used with permission.

Figure 3.4c: Photograph of Nectocaris fossil reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd.: Nature, Figure 1, Smith, M. R., and Caron, J.-B., "Primitive soft-bodied cephalopods from the Cambrian," Nature, 465 (May 27, 2010): 469–472. Copyright 2010. Used with permission.

Figure 3.5a: Photograph of stromatolite fossil courtesy of user: Rygel, M. C., at en.wikipedia / Wikimedia Commons / CC-BY-SA–3.0. Used with permission; usage not intended to imply endorsement by the author/licensor of the work.

Figure 3.5b: Photograph of stromatolite fossil courtesy of American Association for the Advancement of Science, Figure 2B, Hoffman, P., "Algal Stromatolites: Use in Stratigraphic Correlation and

Paleocurrent Determination," Science, 157 (September 1, 1967): 1043–45. Reprinted with permission from AAAS. Used with permission.

Figure 3.6a–1: Drawing of ctenophore by Ray Braun based on information from Figure 28, Chen, J. Y., and Zhou, G., "Biology of the Chengjiang fauna." In "The Cambrian Explosion and the Fossil Record," 33, Bulletin of the National Museum of Natural Science, 10:11–106. Edited by Chen, J. Y., Cheng, Y., and Iten, H. V., eds. Taiwan: National Museum of Natural Science, 1997.

Figure 3.6a–2: Photograph of ctenophorefossil courtesy of J. Y. Chen. Source: Figure 102, Chen, J. Y., Zhou, G. Q., Zhu, M. Y., and Yeh, K. Y. The Chengjiang Biota—A Unique Window of the Cambrian Explosion, 96. Taichung, Taiwan: National Museum of Natural Science, 1996. Used with permission.

Figure 3.6b–1: Drawing of phoronid by Ray Braun based on information from Figure 51, Chen, J. Y., and Zhou, G., "Biology of the Chengjiang fauna." In "The Cambrian Explosion and the Fossil Record,"45, Bulletin of the National Museum of Natural Science, 10:11–106. Edited by Chen, J. Y., Cheng, Y., and Iten, H. V., eds. Taiwan: National Museum of Natural Science, 1997.

Figure 3.6b–2: Photograph of phoronid fossil courtesy of J. Y. Chen. Source: Figure 49, Chen, J. Y., and Zhou, G., "Biology of the Chengjiang fauna." In "The Cambrian Explosion and the Fossil Record," 44, Bulletin of the National Museum of Natural Science, 10:11–106. Edited by Chen, J. Y., Cheng, Y., and Iten, H. V., eds. Taiwan: National Museum of Natural Science, 1997. Used with permission.

Figure 3.6c–1: Drawing of Waptia by Ray Braun based on information from Figure 110, Briggs, D., Erwin, D., and Collier, F. The Fossils of the Burgess Shale, 157. Washington: Smithsonian Institution Press, 1994.

Figure 3.6c–2: Photograph of Waptia fossil courtesy of Paul Chien. Used with permission.

Figure 3.6d–1: Drawing of priapulid worm by Ray Braun based on information from Figures 32A and 32B, Chen, J. Y., and Zhou, G. "Biology of the Chengjiang fauna." In "The Cambrian Explosion and the Fossil Record," 36, Bulletin of the National Museum of Natural Science, 10:11–106. Edited by Chen, J. Y., Cheng, Y., and Iten, H. V., eds. Taiwan: National Museum of Natural Science, 1997.

Figure 3.6d–2: Photograph of priapulid worm fossil courtesy of Paul Chien. Used with permission.

Figure 3.6e–1: Drawing of Eldonia by Ray Braun based on information from Figure 147, Chen, J. Y., Zhou, G. Q., Zhu, M. Y., and Yeh, K. Y. The Chengjiang Biota—A Unique Window of the Cambrian Explosion, 124. Taichung, Taiwan: National Museum of Natural Science, 1996; "Cambrian Café," http://cambrian-cafe.seesaa.net/archives/201003–1.html.

Figure 3.6e–2: Photograph of Eldonia fossil courtesy of J. Y. Chen. Source: Figure 148, Chen, J. Y., Zhou, G. Q., Zhu, M. Y., and Yeh, K. Y. The Chengjiang Biota—A Unique Window of the Cambrian Explosion, 125. Taichung, Taiwan: National Museum of Natural Science, 1996. Used with permission.

Figure 3.6f–1: Drawing of hyolith by Ray Braun based on information from Figure 172, Chen, J. Y., Zhou, G. Q., Zhu, M. Y., and Yeh, K. Y. The Chengjiang Biota—A Unique Window of the Cambrian

Explosion, 132. Taichung, Taiwan: National Museum of Natural Science, 1996.

Figure 3.6f–2: Photograph of hyolith fossil courtesy of J. Y. Chen. Source: Figure 173A, Chen, J. Y., Zhou, G. Q., Zhu, M. Y., and Yeh, K. Y. The Chengjiang Biota—A Unique Window of the Cambrian Explosion, 139. Taichung, Taiwan: National Museum of Natural Science, 1996. Used with permission.

Figure 3.7a–1: Photograph of sponge embryo fossil courtesy of Paul Chien. Used with permission.

Figure 3.7a–2: Photograph of sponge embryo fossil courtesy of Paul Chien. Used with permission.

Figure 3.7b: Photograph of sponge embryo fossil courtesy of Paul Chien. Used with permission.

Figure 3.8: Diagram drawn by Ray Braun based on information in Figure 2, Meyer, S. C., Ross, M., Nelson, P., and Chien, P. "The Cambrian Explosion: Biology's Big Bang." In Darwinism, Design and Public Education, edited by John Angus Campbell and Stephen C. Meyer, 326. East Lansing, MI: Michigan State University Press, 2003. Courtesy of Brian Gage.

Figure 3.9a: Drawing of Myllokunmingia by Ray Braun based on information from Figure 2A, Shu, D. G., Lou, H. L., Conway Morris, S., Zhang, X. L., Hu, S. X., Chen, L., Han, J., Zhu, M., Li, Y., and Chen, L. Z., "Lower Cambrian Vertebrates from South China." Nature, 402 (1999): 42–46.

Figure 3.9b: Photograph of Myllokunmingia fossil reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd.: Nature, Figure 2A, Shu, D. G., Lou, H. L., Conway Morris, S., Zhang, X. L., Hu, S. X., Chen, L., Han, J., Zhu, M., Li, Y., and Chen L. Z., "Lower Cambrian Vertebrates from South China." Nature, 402 (1999): 42–46. Copyright 1999. Used with permission.

Figure 4.1a–1: Drawing of Dickinsonia by Ray Braun based on information from "Les premiers animaux de la Terre," L'Historie de la vie sur terre, April 23, 2009, http://titereine.centerblog.net/4-Les-premiers-animaux-de-la-Terre.

Figure 4.1a–2: Photograph of Dickinsonia fossil courtesy of Figure 2, Peterson, K. J., Cotton, J. A., Gehling, J. G., and Pisani, D., "The Ediacaran emergence of bilaterians: congruence between the genetic and the geological fossil records," Philosophical Transactions of the Royal Society B, 2008, 363 (1496): 1435–43, by permission of the Royal Society.

Figure 4.1b–1: Drawing of Spriggina by Ray Braun based on information from Spriggina flounensi C.jpg, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Spriggina_flounensi_C.jpg.

Figure 4.1b–2: Photograph of Spriggina fossil courtesy of Figure 2, Peterson, K. J., Cotton, J. A., Gehling, J. G., and Pisani, D., "The Ediacaran emergence of bilaterians: congruence between the genetic and the geological fossil records," Philosophical Transactions of the Royal Society B, 2008, 363 (1496): 1435–43, by permission of the Royal Society.

Figure 4.1c–1: Drawing of Charnia by Ray Braun based on information from Charnia_Species_BW_by_avancna, http://avancna.deviantart.com/art/Charnia-Species-BW-101515874.

Figure 4.1c–2: Photograph of Charnia masoni fossil courtesy of user: Smith609 at en.wikipedia / Wikimedia Commons / CC-BY–2.5. Used with permission; usage not intended to imply endorsement by the author/licensor of the work.

Figure 4.2a: Photograph of Arkarua fossil courtesy of Figure 4B, Gehling, J. G., "Earliest known echinoderm—a new Ediacaran fossil from the Pound Subgroup of South Australia," Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology, 11 (1987): 337–45. Used with permission; usage not intended to imply endorsement by the author / licensor of the work.

Figure 4.2b: Photograph of Parvancorina fossil courtesy of Figure 2, Peterson, K. J., Cotton, J. A., Gehling, J. G., and Pisani, D., "The Ediacaran emergence of bilaterians: congruence between the genetic and the geological fossil records," Philosophical Transactions of the Royal Society B, 2008, 363 (1496): 1435–43, by permission of the Royal Society.

Figure 4.3: Photograph of Vernanimalcula fossil courtesy of American Association for the Advancement of Science, from Figure 1b, Chen, J.-Y., Bottjer, D. J., Oliveri, P., Dornbos, S. Q., Gao, F., Ruffins, S., "Small Bilaterian Fossils from 40 to 55 Million Years Before the Cambrian," Science, 305 (July 9, 2004): 218–22. Reprinted with permission from AAAS.

Figure 5.1: Pentadactyl limb drawing courtesy of Jody F. Sjogren and Figure 4-1, Wells, J., Icons of Evolution: Science or Myth? Washington D.C.: Regnery, 2000. Copyright © Jody F. Sjogren 2000. Used with permission.

Figure 5.2: Drawing by Ray Braun based on information from Paul Nelson; Smith, A. B., and Peterson, K. J., "Dating the Time and origin of Major Clades," Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 30 (2002): 65–88.

Figure 6.1: Drawing by Ray Braun based on information from Telford, M. J. et al. "The evolution of the Ecdysozoa," Philosophical Transactions of the Royal Society B, Vol. 363 (2008): 1529–37; Aguinaldo, A. M., Turbeville, J. M., Linford, L. S., Rivera, M. C., Garey, J. R., Raff, R. A., and Lake, J. A. "Evidence for a clade of nematodes, arthropods and other moulting animals," Nature, 387 (1997): 489–93; Mallatt, J. M., Garey, J. R., and Shultz, J. W., "Ecdysozoan phylogeny and Bayesian inference: first use of nearly complete 28S and 18S rRNA gene sequences to classify the arthropods and their kin,"Molecular Phylogenetics and Evolution, 31 (2004): 178–91; Halanych, K. M., "The New View of Animal Phylogeny," Annual Review of Ecology and Systematics, 35 (2004): 229–56; Roy, S. W., and Irimia, M., "Rare Genomic Characters Do Not Support Coelomata: Intron Loss/Gain," Molecular Biology and Evolution, 25 (2008): 620–23; Hyman, L. H. The Invertebrates. Vol. 1: Protozoa through Ctenophora. New York: McGraw-Hill, 1940; Holton, T. A., and Pisani, D., "Deep Genomic-Scale Analyses of the Metazoa Reject Coelomata: Evidence from Single- and Multigene Families Analyzed Under a Supertree and Supermatrix Paradigm," Genome Biology and Evolution, 2 (2010): 310–24.

Figure 6.2: Drawing by Ray Braun and Paul Nelson based on information from Figure 1, Edgecombe, G. D., Giribet, G., Dunn, C. W., Hejnol, A., Kristensen, R. M., Neves, R. C., Rouse, G. W., Worsaae, K., and Sørensen, M. V., "Higher-level metazoan relationships: recent progress and remaining questions," Organisms, Diversification, & Evolution, 11 (June 2011): 151–72.

Figure 6.3: Drawing by Ray Braun and Paul Nelson based on information from Extavour, C. G., and Akam, M., "Mechanisms of germ cell specification across the metazoans: epigenesis and preformation," Development, 130 (2003): 5869–84.

Figure 6.4: Drawing by Ray Braun and Paul Nelson based on information from Figure 1, Extavour, C.

G. M. "Evolution of the bilaterian germ line: lineage origin and modulation of specific mechanisms," Integrative and Comparative Biology, 47 (2007): 770–85.

Figure 6.5: Drawing by Ray Braun and Paul Nelson based on information from Willmer, P. G. Invertebrate Relationships: Patterns in Animal Evolution, 2–14. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

Figure 7.1a: Photograph of Stephen Jay Gould courtesy of Steve Liss / TIME& LIFE Images / Getty Images. Used with permission.

Figure 7.1b: Photograph of Niles Eldredge © Julian Dufort 2011. Used with permission.

Figure 7.2: Drawn by Ray Braun based on an original drawing by Brian Gage. Courtesy of Brian Gage.

Figure 7.3: Drawn by Ray Braun based on an original drawing by Brian Gage. Courtesy of Brian Gage.

Figure 8.1: Photograph of James Watson and Francis Crick courtesy of A. Barrington Brown/Science Source. Used With Permission.

Figure 8.2: Drawn by Ray Braun based on an original drawing by Fred Hereen. Courtesy of Fred Hereen.

Figure 8.3: Drawn by Ray Braun based on Figure 10, designed by Brian Gage, in Meyer, S. C., Ross, M., Nelson, P., and Chien, P., "The Cambrian Explosion: Biology's Big Bang." In Darwinism, Design and Public Education, edited by John Angus Campbell and Stephen C. Meyer, 336. East Lansing, MI: Michigan State University Press, 2003.Courtesy of Brian Gage.

Figure 9.1: Photograph of Murray Eden courtesy of MIT Museum. Used with permission.

Figure 9.2: Drawn by Ray Braun.

Figure 9.3: Drawn by Ray Braun.

Figure 10.1: Photograph of Douglas Axe courtesy of Brittnay Landoe. Used with permission.

Figure 10.2: Drawing by Ray Braun based on information from Figures 3.39, 3.40, and 3.44 in Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Stryer, L. Biochemistry, 60–61, 5th ed. New York, NY: W. H. Freeman and Co, 2002.

Figure 10.3: Drawing by Ray Braun based on information from Figure 21, designed by Brian Gage, in Meyer, S. C., Ross, M., Nelson, P., and Chien, P. "The Cambrian Explosion: Biology's Big Bang." In Darwinism, Design and Public Education, edited by John Angus Campbell and Stephen C. Meyer, 374. East Lansing, MI: Michigan State University Press, 2003. Courtesy of Brian Gage.

Figure 10.4: Drawn by Ray Braun.

Figure 11.1: Drawing by Ray Braun and Casey Luskin based on information from Kaessmann, H., "Origins, evolution, and phenotypic impact of new genes," Genome Research, 20 (2010): 1313–26; Long, M., Betrán, E., Thornton, K., and Wang W., "The Origin of New Genes: Glimpses from the Young and Old," Nature Reviews Genetics, 4 (November 2003): 865–75.

Figure 11.2: Drawn by Ray Braun based on information from Luskin, C., "The NCSE, Judge Jones, and Citation Bluffs about the Origin of New Functional Genetic Information," Discovery.org (March 2, 2010), http://www.discovery.org/a/14251.

Figure 12.1: Drawn by Ray Braun based on information from Figure 27, in Frazzetta, T. H. Complex Adaptations in Evolving Populations, 148. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 1975.

Figure 12.2: Photograph of Michael Behe courtesy of Laszlo Bencze. Used with permission.

Figure 12.3: Drawing by Ray Braun based on information from "Powerball—Prizes and Odds," PowerBall, http://www.powerball.com/powerball/pb_prizes.asp.

Figure 12.4: Drawn by Ray Braun based on information from Figure 6, Behe, M. J., and Snoke, D. W., "Simulating evolution by gene duplication of protein features that require multiple amino acid residues," Protein Science, 13 (2004): 2651–64. Original image courtesy of John Wiley and Sons and Protein Science. Original image Copyright © 2004 The Protein Society. Used with permission.

Figure 12.5: Photograph of Ann Gauger courtesy of Laszlo Bencze. Used with permission.

Figure 12.6: Drawn by Ray Braun based on information from Figure 5A, Gauger, A. K., and Axe, D. D. "The Evolutionary Accessibility of New Enzyme Functions: A Case Study from the Biotin Pathway." BIO-Complexity, 2011 (1): 1–17. Original image courtesy of Ann Gauger and Douglas Axe.

Figure 13.1a: Photograph of Christiane Nüsslein-Volhard courtesy of User:Rama / Wikimedia Commons / CC BY-SA 2.0 FR. Used with permission; usage not intended to imply endorsement by the author/licensor of the work.

Figure 13.1b: Photograph of Eric Wieschaus courtesy of Matthias Kubisch / Wikimedia Commons / CC0 1.0. Public domain; usage not intended to imply endorsement by the author/licensor of the work.

Figure 13.2: Drawing by Ray Braun and Paul Nelson based on information from "Mutant Fruit Flies," Exploratorium, http://www.exploratorium.edu/exhibits/mutant_flies/mutant_flies.html.

Figure 13.3: Photograph of Paul Nelson courtesy of Paul Nelson. Used with permission.

Figure 13.4a: Copyright 2008 National Academy of Sciences U.S.A. Figure 1D, Oliveri, P., Tu, Q., and Davidson, E. H., "Global Regulatory Logic for Specification of an Embryonic Cell Lineage," Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 105 (2008): 5955–62. Use of PNAS material does not imply any endorsement by PNAS or the National Academy of Sciences or the authors. Used with permission.

Figure 13.4b: Copyright 2008 National Academy of Sciences U.S.A. Figure 1E, Oliveri, P., Tu, Q., and Davidson, E. H., "Global Regulatory Logic for Specification of an Embryonic Cell Lineage," Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 105 (2008): 5955–62. Use of PNAS material does not imply any endorsement by PNAS or the National Academy of Sciences or the authors. Used with permission.

Figure 13.4c: Copyright 2008 National Academy of Sciences U.S.A. Figure 7, Oliveri, P., Tu, Q., and Davidson, E. H., "Global Regulatory Logic for Specification of an Embryonic Cell Lineage," Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 105 (2008): 5955–62. Use of PNAS material

does not imply any endorsement by PNAS or the National Academy of Sciences or the authors. Used with permission.

Figure 14.1: Photograph of Jonathan Wells courtesy of Laszlo Bencze. Used with permission.

Figure 14.2: Diagram drawn by Ray Braun based on PowerPoint slides developed by Michael Keas.

Figure 14.3a: Drawn by Joseph Condeelis. Copyright © Discovery Institute 2013. Used with permission.

Figure 14.3b: Courtesy of The Company of Biologists. Source: Figure 1B from Smyth, J. T., DeHaven, W. I., Bird, G. S., and Putney, J. W., "Role of the microtubule cytoskeleton in the function of the store-operated Ca^{2+} channel activator STIM1," Journal of Cell Science, 120 (November 1, 2007): 3762–71. Used with permission.

Figure 15.1: Photograph of Stuart Kauffman courtesy of User: Teemu Rajala/ Wikimedia Commons / CC BY 3.0. Used with permission; usage not intended to imply endorsement by the author/licensor of the work.

Figure 15.2: Drawing of DPMs by Ray Braun based on information from Table 1, Stuart A. Newman and Ramray Bhat, "Dynamical patterning modules: physico-genetic determinants of morphological development and evolution," Physical Biology, 5 (1): 1–14 (April 9, 2008); Figure 11.1, Stuart A. Newman, "Dynamical Patterning Modules," in Evolution: The Extended Synthesis, 294, Massimo Pigliucci and Gerd B. Muller eds. (The MIT Press, 2010); Stuart A. Newman, "Physico-Genetic Determinants in the Evolution of Development," Science, 338 (October 12, 2012): 217–19.

Figure 16.1: Drawn by Ray Braun and Paul Nelson.

Figure 16.2: Copyright 2007 National Academy of Sciences, U.S.A. Figure 1, Prud'homme, B., Gompel, N., and Carroll, S. B., "Emerging principles of regulatory evolution," Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), USA, 104 (May 15, 2007): 8605–12. Use of PNAS material does not imply any endorsement by PNAS or the National Academy of Sciences or the authors. Used with permission.

Figure 16.3: Reprinted from Current Biology, 11, Starling, E. B., and Cohen, S. M., "Limb development: Getting down to the ground state," R1025–R1027, Figure 1, Copyright 2001, with permission from Elsevier.

Figure 17.1: Photograph of Charles Thaxton courtesy of Charles Thaxton. Used with permission.

Figure 17.2: Drawing by Ray Braun based on information from Grotzinger, J., Jordan, T. H., Press, F., Siever, R. Understanding Earth, 32–33, 5th ed., New York: W. H. Freeman, 2007; Cox., A., and Hart, R. B. Plate Tectonics: How It Works, 19, Cambridge, MA: Blackwell Science, 1986; Lowrie, W. Fundamentals of Geophysics, 18–19, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1997.

Figure 17.3: Drawing by Ray Braun based on information from Sober, E., Reconstructing the Past, 4–5. Cambridge, MA: MIT Press, 1988.

Figure 18.1: Photograph of Douglas Erwin courtesy of Robyn Wishna / UPHOTO/Cornell University. Used with permission.

Figure 18.2: Drawn by Ray Braun based on information from Figure 2:2, Meyer, S. C., Minnich, S., Moneymaker, J., Nelson, P. A., and Seelke, R. Explore Evolution: The Arguments for and Against Neo-Darwinism, 44. Melbourne and London: Hill House, 2007.

Figure 18.3: Photograph of transistors courtesy of iStockphoto.com/ S230. © iStockphoto.com/ S230. Used with permission.

Figure 18.4: Diagram drawn by Ray Braun based on information from Figure 2, Nelson, P., and Wells, J., "Homology in Biology: Problem for Naturalistic Science and Prospect for Intelligent Design." In Darwinism, Design and Public Education, 317, edited by John Angus Campbell and Stephen C. Meyer, 303–322. East Lansing, MI: Michigan State University Press, 2003.

Figure 18.5: Diagram drawn by Ray Braun based on PowerPoint slides developed by Michael Keas.

Figure 18.6: Diagram drawn by Ray Braun based on PowerPoint slides developed by Michael Keas.

Figure 18.7: Diagram drawn by Ray Braun based on PowerPoint slides developed by Michael Keas.

Figure 19.1: Photograph of Richard Sternberg courtesy of Laszlo Bencze. Used with Permission.

Figure 19.2: Photograph of Moais courtesy of iStockphoto/Think-stock. Used with permission.

Figure 20.1: Photograph of trilobite fossil at Burgess Shale courtesy of Michael Melford / NATIONAL GEOGRAPHIC IMAGE COLLECTION / Getty Images. Used with permission.

Figure 20.2a: Photograph of Stephen C. Meyer and family copyright © 2013 Stephen C. Meyer.

Figure 20.2b: Photograph of mountainside near Burgess Shale copyright © 2013 Stephen C. Meyer.

الفهرس

الموضوع	الصفحة

الجزء الثاني

كيف تنشئ حيوانًا

الموضوع	الصفحة

الجزء الثالث

ماذا بعد داروين؟









لدراسة الإلحاد ومعالجة النوازل العقدية
for Studying Atheism and Contemporary Issues of Faith



لدراسة الإلحاد ومعالجة النوازل العقدية
for Studying Atheism and Contemporary Issues of Faith